This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

551.99
D236

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LE

Rôle possible des Gaz à hautes températures

DOUÉS DE TRÈS FORTES PRESSIONS

ET ANIMÉS D'UN MOUVEMENT FORT RAPIDE

DANS DIVERS PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES

PAR

M. DAUBRÉE

XVI-4

PARIS
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
7, rue des Grands-Augustins, 7

1891

Hommage de Monsieur le Marquis de Pontr
Adhémar

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LE

Rôle possible des Gaz à hautes températures

DOUÉS DE TRÈS FORTES PRESSIONS

ET ANIMÉS D'UN MOUVEMENT FORT RAPIDE

DANS DIVERS PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES

PAR

M. DAUBRÉE

PARIS
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
7, rue des Grands-Augustins, 7

1891

EXTRAIT DU BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
3e série, tome XIX, page 213, séance du 16 février 1891

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LE ROLE POSSIBLE DES GAZ A HAUTES TEMPÉRATURES, DOUÉS DE TRÈS FORTES PRESSIONS ET ANIMÉS D'UN MOUVEMENT FORT RAPIDE, DANS DIVERS PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES. (1),

par **M. DAUBRÉE.**

INTRODUCTION

La puissance mécanique qui est en jeu dans les régions souterraines, pour déterminer les phénomènes externes des volcans, n'a pas encore été soumise à des études directes et, à première vue, elle ne paraît pas de nature à être abordée expérimentalement. Il n'est cependant pas impossible de réaliser des conditions qui, à l'échelle près, reproduisent quelques-unes de celles de ces laboratoires naturels, et il m'a paru qu'on pourrait avoir recours, dans ce but, à l'énergique production de force que développent les explosifs.

Procédé d'expérimentation.

Si je suis parvenu à réaliser le programme que j'avais en vue, c'est grâce à l'inépuisable obligeance de mon éminent confrère à l'Académie des Sciences, M. Sarrau, et à celle, non moins grande, de M. Vieille, dont les importants travaux ont été hautement appréciés. Avec ce précieux concours, j'ai pu trouver au Laboratoire central des Poudres et Salpêtres des appareils et un personnel qu'il m'eût été impossible de rencontrer ailleurs (2).

Nous avons eu recours à l'éprouvette manométrique, ordinairement employée pour les études relatives aux explosifs, mais spécialement modifiée par M. Vieille pour la circonstance. Le cylindre d'acier CC, (fig. 1) à parois très épaisses, dans lequel se produit l'explosion, est fermé à ses deux extrémités par deux tampons filetés, SS et TT également en acier. L'un de ces tampons TT est muni d'un dispositif de mise à feu, c'est-à-dire d'un fil de platine que l'on fait rougir pour enflammer la charge. L'autre tampon SS, qui est ordinairement destiné à recevoir le manomètre à écrasement dans un logement cylindrique, a été transformé pour

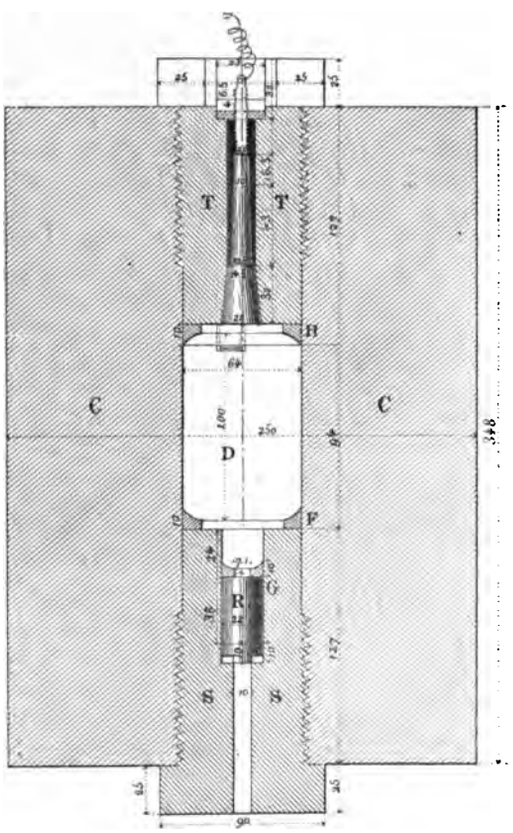
(1) Mémoire présenté dans la séance du 16 février 1891.

(2) Je me fais aussi un devoir de témoigner du con[illegible]roué et utile de M. Caboret.

905

permettre de remplacer le manomètre par la roche R en expérience. De plus, un orifice circulaire, de 10mm de diamètre, a été pratiqué au fond de ce logement, afin que les gaz intérieurs, au lieu de rester emprisonnés, comme d'ordinaire, pussent s'échapper; mais seulement après avoir traversé la roche qui leur barrait le

Fig. 1.



Éprouvette employée pour étudier les actions exercées sur les roches par des gaz explosifs. Les gaz s'échappent par le canal placé au bas de la figure.— Échelle de $\frac{1}{4}$.

passage. Cette roche, taillée sous forme de cylindre, s'appuie donc, par une de ses bases, contre un tampon fixe et, par l'autre, contre la tête d'un piston qui subit l'effet de la pression.

Deux obturateurs en cuivre, F et G, sont adaptés, l'un au bouchon, l'autre sur la roche.

L'éprouvette a 64^{mm} de diamètre intérieur sur 100^{mm} de hauteur, et, par conséquent, une capacité de 304^{cmc}.

Comme matière explosive, on a employé, tantôt du coton-poudre, tantôt de la dynamite-gomme. Elle occupait ordinairement le dixième de la chambre; en d'autres termes, le chargement était à la densité de 0,1; la pression développée était alors de 1100 à 1700 atmosphères, selon l'explosif employé. La température est évaluée à 2500° pour le coton-poudre et à 3200° pour la dynamite-gomme. Quant à la durée de l'explosion, elle est toujours très courte, de $\frac{2}{100000}$ à $\frac{3}{100000}$ de seconde pour le coton-poudre et de $\frac{3}{1000}$ de seconde pour la dynamite-gomme, que l'on qualifie comparativement, en langage technique, d'*explosif lent*.

Une petite casemate bien solidement établie et munie d'une cheminée, dans laquelle on produisait les explosions, préservait les opérateurs contre tout accident.

Dans une première série d'expériences, pour donner issue à travers la roche aux gaz intérieurs, une fissure très fine avait été pratiquée suivant un plan diamétral du cylindre.

Une seconde série d'expériences a concerné des cylindres portant, suivant leur axe, une très fine perforation, afin de concentrer plus sûrement l'action des gaz, dont un obturateur spécial empêchait la fuite dans des directions diverses.

Enfin d'autres expériences ont été faites sur des cylindres de roches diverses qui étaient tout à fait pleins ou continus.

Les substances sur lesquelles j'ai expérimenté sont le calcaire grossier de Marly-la-Ville, près Paris; le calcaire siliceux très dur, faisant feu au briquet, de Château-Landon (Seine-et-Marne); la marne de Pantin; le gypse saccharoïde d'Argenteuil; l'ardoise d'Angers; le granite de Vire, employé à la construction des trottoirs de Paris; le cristal de roche de Madagascar; l'opale (ménilite) d'Argenteuil; le lignite; la limonite oolithique; le basalte d'Auvergne; des laves de l'Etna, du Vésuve et de Volvic; le trachyte du Puy-de-Dôme; une météorite du type le plus commun (Pultusk); puis, comme termes de comparaison, la pâte de creusets réfractaires, la porcelaine, le verre, le cristal, l'acier et la fonte (1).

Programme d'expérimentation.

Les différentes questions que j'ai abordées par le procédé qui vient d'être décrit concernent:

1° L'ouverture des cheminées verticales et cylindroïdes, dont est

(1) Je dois les cylindres de verre et de cristal à M. Léon Appert, ceux d'acier et de fonte à M. Liébaut; ceux de terre cuite et de porcelaine à M. Verneuil; j'adresse à tous ces Messieurs l'expression de ma gratitude.

perforée l'écorce terrestre en différentes régions, et spécialement, dans le pays diamantifère de l'Afrique Australe, en la plupart des districts volcaniques et ailleurs encore.

2° Le concassement des roches et particulièrement la production des poussières, dont le rôle géologique est chaque jour reconnu plus étendu.

3° L'apparente plasticité des roches, sous l'influence d'efforts mécaniques, analogues à ceux dont nous avons d'innombrables exemples dans les masses constitutives des régions disloquées.

4° La sortie de masses rocheuses à travers les perforations verticales de l'écorce terrestre.

PREMIÈRE PARTIE

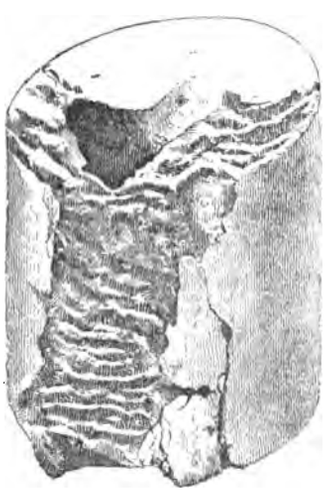
LUMIÈRE FOURNIE PAR L'EXPÉRIENCE A L'HISTOIRE DES CHEMINEES VERTICALES SOUTERRAINES

Les résultats qui vont être résumés concernent successivement : l'ouverture des cheminées diamantifères de l'Afrique du Sud ; celle des canaux volcaniques; celle enfin de percées qui ont fourni une issue à la sortie de beaucoup de roches éruptives.

Production expérimentale d'érosions et de perforations.

Toutes les roches, même les plus tenaces, éprouvent des érosions,

Fig. 2.



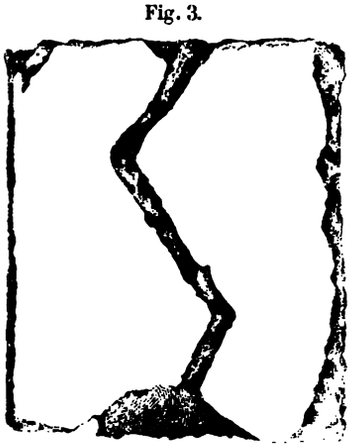
Perforation produite dans un cylindre de calcaire de Marly-la-ville, par le choc des gaz ; il a acquis dans une de ses moitiés la structure schisteuse. — Grandeur naturelle.

plus ou moins profondes, et même de véritables perforations, de la part des explosions gazeuses, en présence desquelles elles se trouvent, dans les conditions qui viennent d'être décrites. Dans toutes les parties, en effet, où les gaz exercent directement leur choc et leur frottement, ils brisent, désagrègent ou pulvérisent, puis arrachent diverses parties de la roche.

Ainsi, dans le calcaire grossier, il s'est produit, à plusieurs reprises, selon une cassure diamétrale très fine qui traversait les cylindres dans toute leur longueur, une perforation à peu près rectiligne et assez large pour qu'on puisse parfaitement voir le jour au travers. Dans l'un des cas (fig. 2), sa section, du côté de la sortie, avait pour contour une courbe très allongée, ayant 13^{mm} de longueur sur 6^{mm} de largeur. Une autre fois, l'orifice de sortie était circulaire et de 6^{mm} de diamètre. Les gaz s'étaient donc instantanément frayé une voie à travers le cylindre, ce qui, d'ailleurs, ne les avait pas empêchés de s'échapper, en partie, sur sa périphérie qu'ils avaient fortement érodée.

Malgré son excessive ténacité, le granite lui-même n'échappe aucunement à la puissance perforatrice des gaz. C'est ce que montre l'expérience suivante : Une rigole en zig-zag, de $\frac{1}{10}$ de millimètre environ de largeur et d'autant de profondeur, avait été creusée sur la section plane d'une des moitiés du cylindre (Fig. 3); celle-ci

Fig. 3.



Cylindre de granite : érosion énergique produite par les gaz, suivant une fine rigole pratiquée dans un plan diamétral. — Grandeur naturelle.

avait été appliquée contre la seconde moitié de ce cylindre, avec laquelle elle avait un contact à peu près parfait, les deux faces ayant

été planées et polies avec soin. Or après l'explosion, non seulement le canal primitif s'est très notablement élargi, mais encore un second canal (Fig. 4), juxtaposé au premier, a été ouvert instanta-

Fig. 4.

Érosion *entièrement creusée* par les gaz sur l'autre moitié du même cylindre d granite. Contre-partie absolument symétrique de la rigole de la figure 3. — Grandeur naturelle.

nément par les gaz, qui, paraît-il, ne trouvaient pas une issue suffisante : ils y ont creusé une contre-partie symétrique. En outre, près de l'orifice de sortie, les gaz ont produit, comme on le voit aussi sur la figure, un arrachement sous forme de calotte hémisphérique, qu'ils ont broyée et projetée au dehors de l'appareil.

En vue de la difficulté à vaincre, dans cette dernière expérience, on avait cru devoir doubler la densité de chargement du coton-poudre et la porter à 0,2, ce qui correspond à une pression de 2,300 atmosphères et à une température de 2,600 degrés.

Mais les résultats qui suivent font reconnaître que des pressions aussi élevées sont loin d'être nécessaires pour perforer le granite.

Une trouée également très caractéristique a, en effet, été obtenue avec un chargement de coton-poudre, dans les conditions de la plupart de nos expériences, c'est-à-dire à la densité de 0, 1, et une pression d'environ 1100^{atm}. Un cylindre de granite, coupé par un plan diamétral en deux parties, qui avaient été serrées l'une contre l'autre au moyen d'une ligature en cuivre, portait une petite rigole (Fig. 5). Ce cylindre a été profondément excavé sur toute sa longueur, par un canal irrégulier, s'épanouissant dans le

plan de séparation et qui, dans ce sens, a pénétré par deux ramifications (Fig. 6), jusqu'à la surface. L'entrée (Fig. 7), s'étend à peu

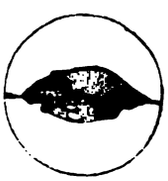
Fig. 5.

Cylindre de granite, coupé en deux moitiés réunies par un fil de cuivre, pour être ainsi soumis à l'action des gaz. — Grandeur naturelle.

Fig. 6.

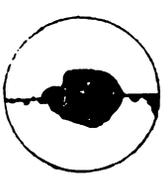
Perforation produite dans le cylindre de granite de la figure 5; vue suivant le plan diamétral. — Grandeur naturelle.

Fig. 7.



Même perforation, dans le granite; vue sur la face d'entrée. — Grandeur naturelle.

Fig. 8.



Même perforation dans le granite: vue sur la face de sortie. — Grandeur naturelle.

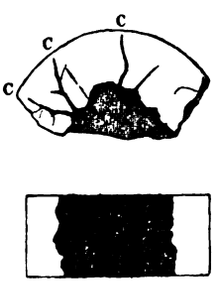
près sur tout le diamètre du cylindre et la sortie (Fig. 8) se retrécit en se partageant en trois ramifications distinctes, séparées par

deux espèces de *ponts*. Le cylindre, qui pesait 27gr, 35, a perdu 6gr, 10. Un autre cylindre s'est réduit de 17gr,2 à 11,5.

Il peut être intéressant d'ajouter qu'un troisième cylindre de granite, soumis à la même épreuve, a donné des résultats tout à fait semblables à ceux qui viennent d'être décrits.

En substituant aux cylindres précédents, dont la hauteur excédait notablement le diamètre, une rondelle ou cylindre de granite déprimé suivant son axe, on voit la forme de la perforation se modifier (Fig. 9).

Fig. 9.



Perforation produite dans une rondelle de granite. Vue transversale et vue longitudinale. — Grandeur naturelle.

Il en est de même pour une rondelle taillée dans une météorite de la chute de Pultusk.

Les gaz ont mordu non moins énergiquement sur un cylindre, également déprimé, de cristal de roche et pourvu, suivant son axe, d'une très fine perforation (1); ils ont creusé à leur sortie un

Fig. 10.

Cylindre de cristal de roche perforé par les gaz. — Grandeur naturelle.

cône régulier d'arrachement (Fig. 10) ayant à sa base un diamètre de 12mm et un angle au sommet d'environ 65°.

Lors même qu'une voie étroite, comme une fissure, n'a pas été préparée pour diriger et localiser leur action, les gaz eux-mêmes

(1) On a eu soin de faire coïncider l'axe optique avec l'axe du cylindre.

peuvent s'ouvrir un canal de fuite, à travers la roche, dont la tenacité paraissait devoir leur barrer le passage.

C'est ce qui a été constaté sur des roches diverses, gypse, calcaire, granite, laves de l'Etna et du Vésuve, météorite, qu'on avait taillées sous forme de cylindre, moins épais que dans le premier cas. Les gaz, par leur choc, ont brisé ces cylindres et se sont élancés, en arrachant les débris, perçant ainsi, comme à l'emporte-pièce, des canaux qui débordent même parfois sur l'ouverture de l'obturateur, appui de la roche.

Dans quelques cas, la roche a été assez tenace pour ne pas être entièrement perforée dans les conditions où on l'avait soumise. Tel a été le cas pour un leucitophyre de la Somma, dans lequel l'excavation s'est étendue en largeur sans traverser entièrement le cylindre. Le basalte s'est montré plus résistant encore.

Quant au granite, la facilité avec laquelle il est perforé paraît se rattacher à sa texture granulaire.

Pour les cylindres d'acier et de fonte, et contrairement à ce qu'on aurait pu supposer, les érosions n'ont pas été aussi fortes que pour le granite et les autres roches pierreuses. Ce fait est peut-être en relation avec les grandes conductibilités de ces métaux, qui soutirent la chaleur beaucoup plus rapidement que les substances lithoïdes.

Une fissure n'est donc pas nécessaire pour localiser l'action mécanique des gaz explosifs. Lorsque la roche est pleine, les moindres différences d'épaisseur ou de résistance suffisent pour déterminer instantanément les points d'attaque. C'est, par exemple, ce que montre une lave de l'Etna, taillée sous la forme d'une rondelle cylindrique de 10 millimètres d'épaisseur. Sur la base qui devait recevoir le choc des gaz, on avait tracé deux lignes, dirigées suivant deux diamètres rectangulaires entre eux et ayant à peine $0,^{mm}3$ de profondeur. L'une de ces deux lignes a provoqué une sélection, et la perforation d'une crevasse très allongée suivant l'un des deux diamètres qui s'étendait à peu près sur toute son étendue.

Production expérimentale de stries de frottement.

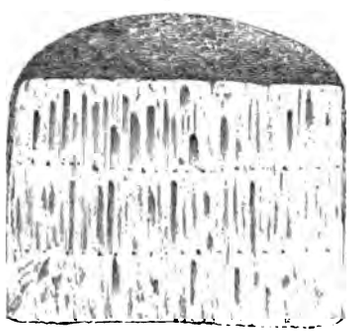
Quand les gaz, au lieu de concentrer leur action en forant un canal, se déversent suivant des surfaces étendues, leurs effets érosifs se traduisent d'ordinaire par des stries, des sillons et des cannelures qu'ils creusent énergiquement sur ces surfaces. Ces stries sont tantôt rectilignes et parallèles, tantôt s'écartent en éventail, tantôt s'infléchissent avec une légère courbure, de manière à représenter

graphiquement et d'une manière durable, les mouvements des gaz qui leur ont donné naissance. On en voit ici un exemple pour le gypse (fig. 11 et 12).

Fig. 11.

Stries gravées dans un cylindre de gypse, suivant une cassure perpendiculaire à l'axe. — Grandeur naturelle.

Fig. 12.



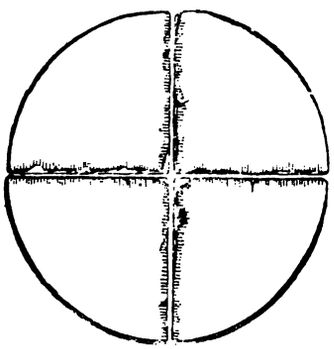
Stries gravées dans le même cylindre de gypse, sur un plan diamétral. — Grandeur naturelle.

Par analogie avec ce que nous voyons d'ordinaire, on pouvait d'abord penser que les gaz gravent ainsi les roches, à l'aide des particules solides qu'ils leur arrachent et dont ils se servent comme de burins.

Mais un examen plus complet montre qu'un intermédiaire solide ne leur est pas indispensable. En effet, c'est *aussitôt leur arrivée sur la roche* qu'ils l'entament, pour y produire des stries et des cannelures. Ainsi, pour un cylindre siliceux assez dur pour faire feu au briquet et qui était coupé en quatre secteurs rectangulaires (Fig. 13), chacune des huit arêtes encadrant l'orifice en forme de croix, par laquelle les gaz se précipitaient, a été fortement ébréchée, émoussée, striée très nettement et cannelée, dans le sens même du courant gazeux ; puis, à partir de ces arêtes d'entrée, chacune des huit faces, en forme de rectangle allongé, a été rayée sur toute sa

longueur par des stries très nettes (fig. 14), les unes rectilignes, d'autres infléchies, qui s'étendent sur toute la longueur, mais en s'atténuant graduellement. Du côté de l'orifice de sortie, les arêtes sont restées vives.

Fig. 13.



Cylindre de calcaire siliceux coupé en quatre secteurs et représenté suivant celle de ses bases, qui sert de face d'entrée aux gaz : chacune des arêtes a été ébrèchée et cannelée. — Grandeur naturelle.

Fig. 14.

Stries produites par les gaz, dans le même cylindre de calcaire siliceux, sur l'une des huit faces longitudinales des secteurs; les sept autres se présentent dans un état identique. — Grandeur naturelle.

A leur arrivée sur chaque arête, les gaz agissent non seulement par frottement, mais encore et surtout par choc.

D'après ces effets, il paraît aussi qu'au point de vue du frottement, les fluides se comportent autrement que les solides et que leur vitesse intervient d'une manière extrêmement énergique.

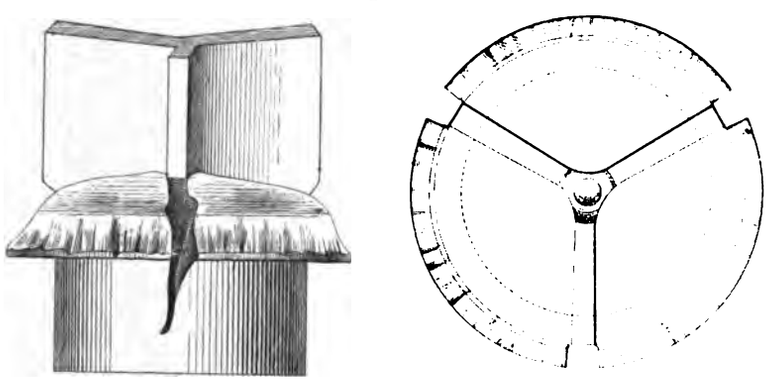
Dans les discussions auxquelles l'origine des stries produites sur de vastes étendues de roches, pendant la période quaternaire, a donné lieu autrefois, on avait cru devoir admettre que les corps solides seuls avaient pu exercer une pression efficace; or, nous voyons que des gaz sont capables de donner lieu à ce même résultat.

La surface des diamants noirs, de la variété *carbonado*, présente souvent des stries parallèles très remarquables, qui peuvent avoir été produites par leur frottement mutuel, ainsi que je l'ai montré par l'expérience (1). Nous voyons cependant qu'il y a une autre origine possible pour ces stries, ainsi que pour celles qui sont burinées dans les parois des diatrèmes diamantifères de l'Afrique du Sud.

Il n'est pas besoin de vitesses aussi grandes que celles qui sont mises en jeu, au moyen des explosifs, pour produire des érosions considérables : avec l'aide du temps, des gaz fonctionnant dans des conditions incomparablement moins exceptionnelles parviennent à des résultats qui méritent d'être pris également en considération par le géologue. Les détériorations que subissent accidentellement certaines pièces de machines à vapeur en offrent des preuves.

Par exemple, dans les chaudières, des fuites *rasantes* entre les tôles coupent quelquefois la tôle sur toute son épaisseur. Le bronze le plus sain n'échappe pas à cette action mécanique. Deux papillons en bronze, placés sur un tuyau d'écoulement de vapeur

Fig. 15.



Clapet de bronze présentant des érosions, des stries et des coupures produites par la vapeur d'eau : élévation et plan. — Grandeur naturelle.

(1) *Comptes Rendus*, t. LXXXIV, p. 1277, 1877 ; *Géologie expérimentale*, p. 837, 1879

à 7^{atm} de pression, ont été cannelés et striés profondément, dans des parties voisines de l'axe, où la vapeur éprouvait de la difficulté à s'écouler ; ce sont des coupures comparables à des *coups de lime* ou des *traits de scie*.

Un clapet (Fig. 15), placé aussi sur une canalisation de vapeur à 7^{atm} de pression, a été également attaqué dans tous les points où la forme de la pièce dirigeait de préférence le courant gazeux. Tels sont : 1° les trois angles rentrants formés sur le corps plat du clapet par les arêtes qui servaient de guidage ; 2° l'extrémité des ailettes, sur la circonférence du clapet, en trois régions où la vapeur était dirigée par les trois paires d'angles dièdres rentrants dont on vient de parler et qui ont été coupés *au vif*, comme à la scie ; 3° la douille destinée à recevoir la tige de manœuvre du clapet, montre des érosions plus singulières encore : en face des entailles découpées par la vapeur, dans le siège conique et dans le même alignement, cette vapeur, s'est ouvert trois issues qui ont pénétré jusqu'à l'intérieur de la douille ; 4° le siège conique présente, suivant les génératrices du cône, des séries de cannelures si nombreuses, qu'elles rappellent l'aspect d'un cône de papier qu'on aurait plissé.

Il importe de remarquer que, sur toutes ces entailles, le métal a acquis, par l'influence du frottement, le même poli que lui donnerait un émeri fin, et auquel est évidemment étrangère toute action chimique.

Chapitre I.

OUVERTURE DES CHEMINÉES DIAMANTIFÈRES DE L'AFRIQUE DU SUD

Caractère des cheminées de l'Afrique Australe.

L'exploitation des mines de diamants de l'Afrique australe a révélé, entre autres faits importants, un mode particulier suivant lequel s'est brisée l'écorce terrestre. C'est sous forme de canaux verticaux, dont les caractères remarquables et exactement constatés par de nombreuses exploitations méritent d'être sommairement rappelés.

D'après le très intéressant exposé qu'en a donné M. Moulle (1) les gisements diamantifères du Cap forment, sans exception, des

(1) Moulle. *Géologie générale des mines de diamants de l'Afrique du Sud.* — *Annales des Mines* 1885, série, t. VII, p. 193

masses cylindroïdes s'enfonçant normalement dans le sol et remplissant de véritables cheminées taillées, comme à l'emporte-pièce, dans les roches encaissantes, sédimentaires et éruptives. Les gisements, qui ont été reconnus au nombre de dix-sept, sont situés le long d'une ligne droite de 200^{km} de longueur.

Toutes les cheminées diamantifères ont une section circulaire, elliptique ou réniforme, sans orientation spéciale. Leur diamètre peut varier de 20^{m} à 450^{m}, il est généralement compris entre 150^{m} et 300^{m} (Kimberley, de Beers et Bultfontein).

Beaucoup de gisements de roches diamantifères se sont présentés primitivement comme surmontés d'une légère éminence, de quelques mètres de hauteur, d'où le nom de *Kopyes* (éminences, petites têtes). Dans d'autres cas très nombreux, l'affleurement s'est signalé par une dépression, désignée par les Boërs sous le nom expressif de *pans* (poèle à frire).

Le calibre des cheminées diamantifères se rétrécit généralement dans la profondeur.

Toujours, les parois de la cheminée sont parfaitement lisses et finement striées verticalement. Les stries, toutes parallèles, attestent très nettement un énergique frottement et une poussée verticale, de bas en haut.

Les couches de schistes qui forment la paroi de la cheminée n'ont éprouvé au contact aucune altération; elles sont seulement relevées vers le haut.

Quant au remplissage des cheminées, il consiste en roches fragmentaires, la plupart silicatées et magnésiennes, dans lesquelles sont disséminés les diamants.

La surface du vaste plateau triasique de l'Afrique australe montre une série de ces dépressions particulières à la contrée, ou *pans*. Tous les *pans* paraissent correspondre à des canaux verticaux analogues aux cheminées diamantifères.

Analogies des résultats de l'expérience avec les formes, les caractères et la disposition des cheminées diamantifères.

Il serait difficile de comprendre comment un agent, autre qu'un moteur gazeux, aurait pu produire les perforations verticales et rondes dont il s'agit. Mais les résultats des expériences, dont nous venons de rendre compte, nous amènent à des vues plus satisfaisantes qu'une conclusion négative.

On a vu comment les gaz, doués de très hautes pressions et animés de fort grandes vitesses, attaquent toutes les roches. Se

renouvelant sans interruption, aidés d'ailleurs d'une température de 1300° à 2500° et d'une vitesse qui excède 1300^{m} par seconde, ils s'acharnent, pour ainsi dire, comme à une proie, contre la paroi qu'ils frottent. Il est très remarquable qu'il suffise de 30^{gr} de gaz, agissant pendant une faible fraction de seconde, pour produire une telle quantité d'effets mécaniques et calorifiques.

Non seulement les gaz exercent des érosions sur les parois des cassures, à travers lesquelles ils se frayent une voie; mais, si, en quelques points de ces cassures, ils rencontrent un passage relativement facile, ils y concentrent leur action, et y perforent des canaux, qui se rapprochent plus ou moins de formes cylindriques.

Ces résultats de l'expérience présentent avec les formes, les caractères et la disposition des canaux diamantifères de l'Afrique australe, des analogies bien remarquables, qui paraissent éclairer l'origine de ces derniers.

D'abord l'alignement rectiligne de ces canaux ne peut être dû à une circonstance fortuite. Elle indique manifestement qu'ils ont été ouverts sur une grande faille ou un même système de failles parallèles. Toutefois, chacune de ces cheminées a une origine qui lui est propre et certainement distincte de celle des grandes fractures linéaires, sur lesquelles elles sont cependant entées.

Leur forme cylindrique, la petitesse de leur calibre, relativement à leur grande profondeur, les parois alésées de ces cheminées, leurs stries et leurs cannelures longitudinales, gravées peut-être par les matériaux solides que les gaz poussaient devant eux, se retrouvent, à l'échelle du laboratoire, dans les résultats des expériences, et constituent autant de traits d'identité.

De même que dans les érosions expérimentales, les trouées qui nous occupent se sont établies sur des cassures profondes, qui étaient en quelque sorte préparées pour les recevoir. Les points singuliers d'échappement, que les gaz ont choisis çà et là, pouvaient être déterminés par le croisement d'autres failles ou par d'autres causes de moindre résistance.

Si nous ignorons la nature des gaz qui ont agi dans ces circonstances, nous rappelerons cependant que l'exploitation constate, à chaque instant, de manière même à en être gênée, la présence de gaz carburés à forte tension qui sont emprisonnés dans les roches encaissantes.

Dans les expériences précitées, l'explosion qui détermine les érosions a eu une durée de quelques cent-millièmes ou de quelques dix-millièmes de seconde, c'est-à-dire qu'elle est presque instantanée. Rien n'empêche de supposer que dans la nature, où les

sentis sur une étendue de 3000 kilomètres de rayon a manifesté aussi l'énorme puissance des vapeurs souterraines. A l'Etna, la lave qui s'élève souvent jusqu'à la cime de cette pyramide singulière, que son isolement rend si imposante et à laquelle les Arabes ont donné le nom de *Djebel*, la montagne par excellence, est fournie par un réservoir situé certainement beaucoup plus bas que le niveau des mers; elle témoigne ainsi, comme l'a fait remarquer Élie de Beaumont, d'une pression de plus de mille atmosphères.

Cassures pouvant établir une communication entre ces réservoirs et la surface.

Quant aux cassures qui peuvent mettre les réservoirs en communication avec la surface, il est superflu de s'étendre à leur égard. De toutes parts, même en dehors des chaînes de montagnes, elles dessinent des alignements par de nombreux phénomènes éruptifs.

Conclusion à tirer du gisement des volcans.

Les expériences ont montré comment les gaz, emprisonnés et comprimés, cherchent sur les fissures auxquelles ils ont accès, pour se détendre vers l'extérieur, un ou plusieurs points de moindre résistance, à partir desquels ils ouvrent un canal, qu'ils augmentent rapidement et transforment en diatrème.

Or ces conditions se reproduisent, trait pour trait, dans les caractères les plus généraux du gisement des volcans. L'isolement des montagnes volcaniques, leur forme d'ordinaire grossièrement conique et leur mode de fonctionnement doivent, en effet, faire admettre que chacune d'elles correspond à un conduit vertical ou cheminée, qui communique avec les régions profondes du globe; la montagne forme comme le couronnement de cette cheminée, par laquelle débouchent, en temps d'éruption, les masses gazeuses, fondues ou solides. On ne voit pas comment cette cheminée résulterait d'une action autre que celle d'une pression exercée verticalement, de bas en haut, sur un point unique.

La ressemblance avec les résultats de l'expérience est plus frappante encore, lorsque les volcans sont disposés en séries linéaires, comme on en a tant d'exemples. Depuis longtemps cette disposition a été considérée par Léopold de Buch, comme correspondant à des soupiraux ouverts sur une même grande cassure. Ces séries de canaux volcaniques paraissent devoir être assimilées aux séries de

cheminées diamantifères et résulter de renflements sur un même système de cassures.

L'intervention des gaz dans l'ouverture des cheminées paraît particulièrement évidente pour les volcans qui n'ont apporté au jour que des déjections incohérentes, scories et débris des roches encaissantes, sans accompagnement de matières fondues. Les cavités circulaires nommées *Maars* dans l'Eifel et d'autres bien connues aussi en Auvergne et ailleurs, marquent, par des cratères, les orifices de ces canaux. Elles paraissent représenter le phénomène volcanique le plus simple et si bien correspondre à des effets de la tension des vapeurs intérieures qu'on leur a donné le nom de *cratères d'explosion*. Beaucoup d'autres cavités cratériformes ont sans doute une origine semblable. Telles sont le Gur de Tazenat, dans le Velay, d'un diamètre de 800^{m} et dominé par un amphithéâtre de granite; tel est aussi un cratère situé dans la même région, près de la station de Confolens : d'après Tournaire, qui en a donné une figure (1), ce cratère est entièrement excavé dans le granite et n'a livré passage à aucune déjection volcanique; seulement sur son axe a été poussé un cône de granite fragmentaire, comme une sorte de pepérino granitique.

De même que les failles ou paraclases ont fréquemment servi de réceptacles aux émanations métallifères constitutives des filons, de même nombre de diatrèmes ont servi de canaux aux éruptions volcaniques, et l'ouverture de ces diatrèmes en représente la phase initiale.

Poussée au dehors des brèches volcaniques.

En Europe, sur le sol même de la France, nous avons des dispositions de roches d'origine profonde, qui présentent, avec celles des conglomérats diamantifères de l'Afrique du Sud, des analogies intimes. Il s'agit notamment de ces obélisques cylindroïdes dont la substance est le basalte conglomeré ou pépérino et qui s'élèvent d'une manière si singulière aux environs du Puy-en-Velay et dans la ville même (Roche Saint-Michel, Corneille, Polignac, etc.). La diversité des éléments qui concourent à leur constitution est presqu'aussi grande que celle des matériaux dont sont remplies les cheminées du Cap; le basalte de diverses variétés y est associé à des granites, à des pegmatites plus ou moins altérés et à d'autres roches primitives. Les gemmes n'y font même pas défaut, les diamants étant remplacés par les saphirs et les zircons. Leurs formes et leur alignement rendent bien légitime d'y voir le moulage de canaux

(1) *B. S. G. F.*, 3e série, t. XVIII, p. 1166, 1869.

verticaux, ouverts dans les masses stratifiées, que leur faible résistance n'a pas soustraits à l'action dénudatrice des agents superficiels; ce sont comme des *kopyes* ou des *pans* renversés.

Énergie des pressions internes jusqu'au moment de l'ouverture des diatrèmes.

Dans tous les volcans actifs, l'éruption des gaz et des vapeurs trouve une issue comparativement facile. Le canal, qui a été antérieurement ouvert, fonctionne à la manière d'une soupape de sûreté, conjurant les conséquences d'un excès de pression.

Mais il en était tout autrement avant que les orifices fussent ouverts. Comme dans nos éprouvettes à explosifs, les pressions internes pouvaient s'élever au-delà de toute limite appréciable. Ces tensions de milliers d'atmosphères, que nous réalisons chaque jour avec les explosifs, pouvaient être de beaucoup dépassées. D'ailleurs il paraît légitime d'admettre que, dans la plupart des circonstances l'explosif principal n'était autre que l'eau, dont on connaît la prodigieuse puissance, manifestée notamment par le gonflement et les déchirures de tubes très épais, quoique contenant seulement une fort petite quantité d'eau, lors des expériences où j'ai tenté d'imiter les effets du métamorphisme (1).

Il est donc logique de concevoir que le régime volcanique actuel a pu être précédé d'actions mécaniques, incomparablement supérieures à celles dont nos éruptions sont les effets.

En concentrant leurs efforts sur de fines cassures et spécialement sur leurs croisements, les agents gazeux doués de la puissance perforatrice que nous venons de constater, ont dû provoquer, comme dans les expériences, l'ouverture de canaux.

Quelque énorme que paraisse la puissance réclamée par les gaz pour ouvrir les diatrèmes, elle n'est aucunement inférieure à celle que nous voyons fonctionner dans les volcans actuels ou qui intervient dans nos expériences.

Chapitre III

OUVERTURES DE PERCÉES OU DIATRÈMES DONT ONT PROFITÉ DES ROCHES ÉRUPTIVES.

En dehors des volcans proprement dits, beaucoup de masses éruptives, qui se présentent en dômes isolés, amènent à une conclusion semblable, c'est-à-dire qu'elles sont arrivées au jour par une

(1) *B. S. G. F.*, 2e série, t. XV, p. 97, 1858; *Géologie expérimentale*, p. 154.

diatrème. Tels sont, parmi les milliers d'exemples que l'on pourrait citer, de nombreux dômes trachytiques comme le Puy-de-Dôme, les dômes phonolitiques du Hœgau, du Rhœngebirge et du Mittelgebirge de la Bohême, les cônes de la Solfatare de Naples, d'Astroni et des Camaldules.

Le plus souvent, l'existence de canaux verticaux est dissimulée par une intercalation des roches éruptives qui, naturellement, ont profité de ces passages faciles pour parvenir jusqu'au jour et se sont soudées aux parois encaissantes; mais la présence de ces masses intercalées ne les rend pas plus méconnaissables que ne le sont les failles ou paraclases, après qu'elles ont été injectées par des masses éruptives ou incrustées de substances métallifères.

Toutefois il est des cas ou l'on a eu occasion d'entailler ces massifs et d'y reconnaître à peu près les mêmes formes, que les exploitations diamantifères du Sud de l'Afrique ont si bien fait connaître dans toutes leurs particularités. C'est un nouvel exemple des lumières que l'exploitation des mines, origine principale de la géologie, par les données géométriquement exactes qu'elle fournit, a apportées à la science.

Je citerai, entre autres, la nappe basaltique du Meissner, en Hesse, qui s'est épanchée sur des couches à lignites en se rattachant dans la profondeur à une colonne de basalte, presque cylindrique, ayant environ 100^{m} de diamètre et dont la connaissance précise a été procurée par l'ouverture d'une galerie d'exploitation (1).

Sir Roderick Murchison a signalé une colonne éruptive du même genre à Cornbrook en Shrospshire (2). Des exemples analogues ont été décrits de la manière la plus claire par M. Archibald Geikie (3), dans ses belles études sur les roches volcaniques carbonifères du bassin du Firth of Forth. Les figures que l'éminent géologue en a données font très bien comprendre l'isolement de ces colonnes, qui rappellent les éruptions volcaniques modernes et auxquelles leur forme a fait donner le nom expressif de *necks* (cous). Ces sortes de grands tuyaux verticaux sont remplis d'un assemblage tumultueux de blocs de toutes dimensions, consistant en roches volcaniques et en débris arrachés aux masses, à travers lesquelles la perforation s'est produite. Ce sont visiblement des remplissages de cheminées ou d'évents volcaniques, comme l'est probablement aussi la masse isolée du Kinnekulle, en Suede.

(1) Moesta, *Mineralogisches Jahrbuch*, p. 241, 1869.

(2) *Siluria*, p. 113 et 290.

(3) *Transactions of the Royal Society of Edimburgh*, t. XXIX, p. 137, 143, 163, 558; 1880.

Il serait facile de citer bien des faits analogues : ils ne sont nullement en opposition, et au contraire, avec cette circonstance que plus souvent encore, de grandes cassures rectilignes ou failles ont donné aussi passage aux roches éruptives.

DEUXIÈME PARTIE

FORMATION ET TRANSPORT DE DÉBRIS ; MENUS FRAGMENTS ET POUSSIÈRES ; APPLICATION AUX PHÉNOMÈNES NATURELS, ET SPÉCIALEMENT A L'HISTOIRE DES POUSSIÈRES COSMIQUES ET DE CELLES QUI ABONDENT DANS LES RÉGIONS ABYSSALES DE LA MER.

LUMIÈRE FOURNIE PAR L'EXPÉRIMENTATION A L'HISTOIRE DU CONCASSEMENT DES ROCHES ET A CELLE DE LA PRODUCTION DE POUSSIÈRES.

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, des fractures plus ou moins nombreuses se produisent dans les roches, sous l'action du choc subit des gaz.

Dans l'ardoise, les plans de rupture sont dirigés suivant des clivages, et les segments se déplacent, en glissant les uns relativement aux autres, à la manière de ce qu'on observe, toute proportion gardée, pour les failles. Le verre se craquèle.

Comme contre-partie des érosions et des perforations qu'ils causent, les gaz produisent une quantité de débris qu'ils emportent au dehors. Une feuille de carton C C (Fig. 16), enduite de vaseline, qui était placée à 1^m, 40 au-dessus de la sortie de l'éprouvette E et maintenue au moyen d'un châssis, servait à recueillir une partie de ces projections. Celles-ci, suivant leur grosseur, subissent une sorte de triage qui les distribue sur la surface adhésive, suivant des cercles concentriques (Fig. 17). Les grains les plus grossiers, comme une violente mitraille, perforent le carton et même la planche de support; quant aux parties extrêmement ténues, elles sont partiellement emportées au loin par les gaz qu'elles rendent opaques.

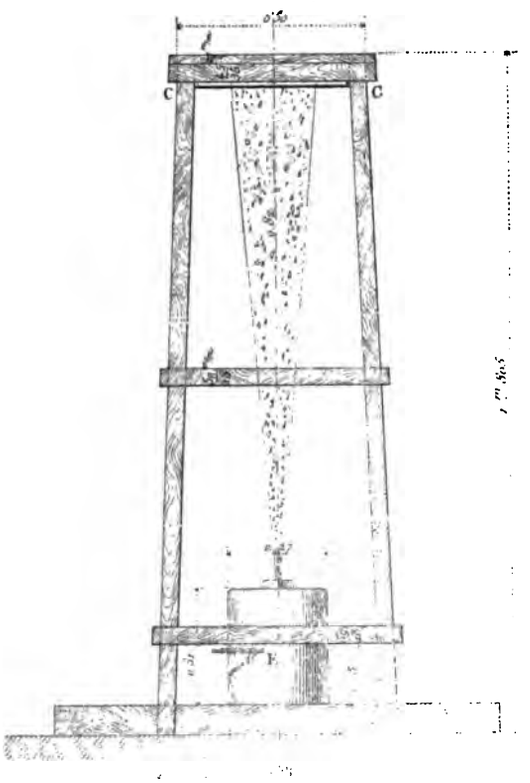
Examen des poussières; leurs analogies avec certaines poussières, déposées par l'atmosphère ou dans les mers profondes.

L'examen des poussières retenues sur la feuille de carton, que M. Stanislas Meunier a bien voulu faire, mérite d'être résumé.

Dans les poussières produites lors de la trituration des roches par le passage des explosions gazeuses, on distingue au microscope des grains de deux catégories différentes. Les uns ne sauraient

être distingués de ceux que donne la simple pulvérisation mécanique ; les autres ont un caractère spécial qui paraît en rapport intime avec les conditions particulières de l'expérience. Par exemple, dans le cas du granite, les trois minéraux constituants : quartz,

Fig. 16.



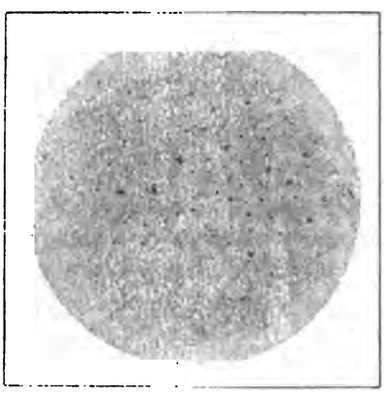
Châssis placé sur l'éprouvette et munie d'une feuille de carton CC, enduite de vaseline et destinée à arrêter une partie des poussières et des fragments projetés par l'éprouvette E. — Échelle $\frac{1}{20}$.

feldspath et mica, se retrouvent avec tous leurs attributs. Mais, outre ces matériaux, on est frappé de rencontrer des petites sphères parfaites ou presque parfaites (fig. 18), absolument opaques et noires, ou peu translucides et brunâtres, dont la surface est luisante, et présentant parfois un petit goulot bien caractéristique : ce sont, sans aucun doute, des produits de fusion.

On retrouve des éléments identiques, dans la poussière dérivant de roches très diverses, qui ont été soumises à l'expérience, mais avec des circonstances variables pour chacune d'elles et dont quelques unes méritent d'être rapidement résumées.

Malgré la variation dans la densité du chargement, qui a été

Fig. 17.

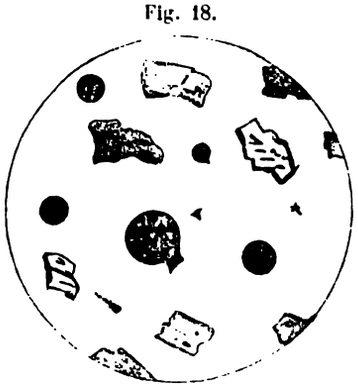


Feuille de carton à laquelle les poussières fines ont adhéré et qui a été percée par les grains grossiers. — Échelle de $\frac{1}{10}$.

portée de 0,1 à 0,2, les caractères des poussières, produites par le granite de Vire, n'ont pas varié d'une expérience à l'autre.

La ménilite, comme le cristal de roche, donne une poudre remarquablement anguleuse. Pour l'opale, les grains sont les uns translucides et fort peu colorés, tandis que les autres sont sen-

Fig. 18.



Poussière de granite dans laquelle on distingue de nombreux globules noirs ou de teinte foncée. — Grossissement de 220 diamètres.

siblement opaques. On voit avec eux quelques globules noirs et brillants, mais qui sont exceptionnellement petits et rares.

La poussière de la craie de Rouen se signale par de petits éclats transparents de glauconie (ou de chlorite plus ou moins altérée) d'un beau vert émeraude, mêlés aux fragments plus ou moins opaques de carbonate de chaux. On voit des débris à clivage rhomboèdrique de calcite transparente, ainsi que beaucoup de grains opaques et quelques globules parfaits et généralement très gros.

La craie de Maëstricht donne une poussière entièrement amorphe, sauf pour quelques grains qui ont des formes de foraminifères et renferme très peu de globules. Le calcaire de Marly produit une poudre très fine, où les globules sont très peu nombreux. Enfin l'anhydrite n'a guère fourni que des éclats de clivage, qui se teignent entre les nicols de bandes, concentriques à la propre forme de chaque fragment. On ne voit pas de globules brillants.

La poussière de la serpentine se montre en grains fort petits, dont les formes sont tout à fait irrégulières, et parmi lesquels on reconnaît des fragments bacillaires, très probablement constitués par de la diallage. Des grains opaques irréguliers sont du fer oxydulé ; ils se distinguent très nettement de sphérules parfaits, à surface brillante et en général forts petits, auxquels ils sont mélangés. Ceux-ci sont attirables au barreau aimanté ; leur nombre est très grand et plusieurs ont une forme ellipsoïdale remarquable.

Enfin la poussière procurée par la lave du Vésuve, présente, au maximum, le caractère globuliforme, déjà signalé dans les produits de trituration de roches par les explosions gazeuses. Presque toute la matière est à l'état de sphérules noirs, de dimensions variables, mais toujours très faibles, de $0^{mm}012$ à $0^{mm}070$, offrant parfois une tubulure. Cette abondance est manifestement en rapport intime avec la fusibilité relative de la roche, qui se traduit aussi par la constitution du vernis général dont sont recouvertes toutes les parties en contact avec les gaz incandescents.

Ajoutons que l'on retrouve des globules dans la poussière de la porcelaine ou de la terre à poteries, mais en nombre variable et avec des dimensions différentes dans chaque cas.

Cette dernière circonstance montre que si l'acier de l'éprouvette peut donner lieu lui-même, par combustion, à quelques globules, ce qui est douteux, comme on le verra plus bas, la plupart ont réellement pour origine la roche en expérience.

Il est impossible de contester l'identité de ces globules avec ceux qui existent en si grande abondance dans les poussières atmos-

phériques, qu'on a signalés à tant de reprises dans les vases actuelles des mers profondes et qui pullulent dans un si grand nombre de sédiments de tous les âges, depuis les argiles albiennes du puits de Grenelle jusqu'aux grès paléozoïques de Villedieu (1).

Jusqu'ici l'opinion générale, la seule d'ailleurs que l'on put avoir, a été de rattacher l'origine de ces globules à l'arrivée dans l'atmosphère de masses cosmiques; et l'on peut ajouter aujourd'hui aux arguments déjà présentés à l'appui de cette thèse, les résultats fournis par la trituration gazeuse des roches météoritiques. La poussière qu'à donné un cylindre de la pierre tombée du ciel en 1868, à Pultusk, montre en effet d'innombrables globules, associés aux éclats de péridot et d'enstatite, ainsi qu'aux granules métalliques, ayant conservé leur forme ramifiée et même souvent leur adhérence avec des minéraux lithoïdes.

Cependant, ce qui précède fait voir que les roches terrestres, de même que les météorites, peuvent engendrer les globules qui nous occupent.

On peut même en saisir, pour ainsi dire, l'origine sur le fait. Sur la paroi interne des canaux ouverts par les gaz dans les cylindres de granite, on voit à côté du quartz, qui a été écaillé par décrépitation, que le mica et le feldspath ont pris, à des degrés divers et avec une intensité inégale suivant les points, un état visqueux ou fluide qui les a étalés sous forme de vernis. Ce vernis a, çà et là, été arraché par le courant gazeux, en minces pellicules, dont on voit les attaches et qui ont été projetées dans l'air, en lambeaux fondus, bientôt refroidis et consolidés.

Pour bien élucider la suite de leur histoire, il est commode, comme l'a fait M. Stanislas Meunier, de substituer aux matériaux réfractaires des roches, quelque corps très fusible, et l'on reconnaît alors que la capillarité intervient pour transformer, en effet, les pellicules fondues, dont nous venons de voir le point de départ, en petits ballonnets creux, souvent tubulés, comme les globules naturels.

Ainsi, en lançant dans l'eau froide le contenu d'une pipette à orifice capillaire, remplie soit de stéarine fondue, soit de cire à cacheter, ou d'un mélange de ces deux substances, on produit des myriades de petites sphérules, ayant les caractères de forme de celles qui nous occupent et reproduisant ainsi, malgré la différence de substances, toutes les allures des globules résul-

(1) Stanislas Meunier et Gaston Tissandier, *Comptes-rendus*, tome LXXXVI, p. 450, 1878.

tant de la combustion du fer dans l'air ou du choc du silex sur l'acier du briquet. Leur forme est, en général, d'autant plus sphérique que leur diamètre est plus réduit ; mais on peut arriver à en produire de fort grosses, c'est-à-dire ayant plusieurs millimètres et, dans ce cas, très faciles à étudier.

En résumé, sans contester, et bien au contraire, que l'arrivée des météorites dans l'atmosphère contribue puissamment à la production des globules brillants dont abondent les sédiments aériens et aqueux, il convient de bien établir que le phénomène terrestre de l'ouverture des diatrèmes intervient très activement pour sa part. Les sphérules concomitantes à l'érosion gazeuse des granites et des autres roches, lancées dans l'atmosphère, aux vertigineuses altitudes où parviennent les fines déjections volcaniques, peuvent être soutenues en l'air fort longtemps et retomber à des distances quelconques. A l'appui de cette opinion, il faut rappeler que dans le bassin des mers, les corpuscules dont il s'agit, et que MM. Renard et Murray n'hésitent cependant pas à rattacher à une origine extra-terrestre, sont, en général, associés à des produits nettement volcaniques, qui semblent être là tout exprès pour trahir leur véritable origine.

On peut noter ici que, à l'inverse des roches précédentes, le quartz hyalin n'a fourni qu'une poussière anguleuse, complètement dépourvue de globules.

La poussière impalpable produite par l'érosion gazeuse des cylindres de fonte et d'acier n'a montré, contrairement à ce qu'il semblait légitime de supposer, que des grains très anguleux ou à peine arrondis et pas du tout de sphérules. La matière est d'ailleurs à peine oxydée, comme en témoigne son action précipitante sur les sels de cuivre, et cet état est peut-être la raison de sa différence de forme avec les poussières globulifères atmosphériques, qui paraissent dériver, au moins en partie, de la combustion dans l'air de masses de fer.

Brèches et poussières dues à la simple action de fluides élastiques.

L'expérience explique que les formes anguleuses des fragments de certaines brèches éruptives, telles que celles des blocs cristallifères si connus de la Somma, et particulièrement celles des *lapilli*, peuvent être dues, non-seulement à la *friction* des roches solides dans la cheminée volcanique, comme on l'a supposé (*Reibungsconglomerat*), mais aussi à la seule action des fluides élastiques, dont la puissance brisante est énorme.

Il en est de même des poussières d'une extrême ténuité, que l'on désigne improprement sous le nom de cendres volcaniques, par exemple pour celles que le Krakatau, en 1883, a vomies en si prodigieuse abondance que l'atmosphère terrestre tout entière en a été salie des mois durant. Toutes ces poussières ont leurs analogues dans les poudres, absolument impalpables, formées dans les expériences par les explosifs, aux dépens de toute espèce de roches.

Il convient de tenir grand compte en géologie de cette puissance des gaz.

TROISIÈME PARTIE

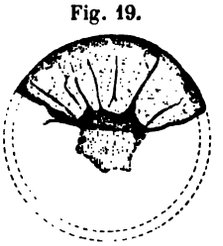
BROYAGE ET MOULAGE DE LA ROCHE REPASSÉE A L'ÉTAT SOLIDE; APPARENTE PLASTICITÉ ET ÉCOULEMENT; APPLICATIONS POSSIBLES A DIVERS EFFETS MÉCANIQUES EXERCÉS SUR LES ROCHES, TELS QUE LA SCHISTOSITÉ.

LUMIÈRE FOURNIE PAR L'EXPÉRIMENTATION A L'HISTOIRE DE L'APPARENTE PLASTICITÉ ET DE L'ÉCOULEMENT DES ROCHES SOUMISES A DES EFFORTS MÉCANIQUES.

Dans plusieurs cas où la roche, gypse, marbre, granite ou météorite, avait été broyée par le courant gazeux qui l'avait traversée, les fragments de formes diverses et la poussière, dont les éléments se sont réagglutinés, se sont exactement *moulés* dans le logement où était placée la roche, de façon à prendre contre l'acier un poli spéculaire, comparable à celui de la monnaie qui a subi le choc du balancier. La délicatesse de ce moulage par pression, ressort aussi de l'empreinte, saisie par la roche, des stries concentriques que le travail au tour avait gravées sur des rondelles d'acier. En se régénérant, la roche s'est comportée d'une manière qui simule la plasticité de la glace, dans les expériences de Tyndall.

Le granite (Fig 19) a parfois peu perdu de sa cohésion et, au

Fig. 19.



Cylindre de granite broyé, puis en partie régénéré; le cylindre primitif est entouré d'une sorte de gaîne figurée en pointillé et consistant en poussière de la même roche, réagglutinée très solidement. — Grandeur naturelle.

premier abord, il a conservé son aspect. Cependant l'examen microscopique d'une lame mince montre qu'il a subi un broyage, au moins dans certaines de ses parties. Quelques parties pulvérisées, renferment à l'état d'inclusion des bulles gazeuses qui sont sans doute des produits de l'explosion. D'après l'examen que M. Michel Levy a bien voulu en faire, les fissures provoquées par l'explosion traversent tous les éléments, mais se multiplient au passage du quartz et des feldspaths; elles ne paraissent pas très déviées par les directions de clivages faciles et affectent une orientation générale, en rapport évident avec la forme extérieure du cylindre. Dans les micas, il y a parfois torsion des feuillets le long des cassures.

De même que le granite, la météorite broyée s'est régénérée et a sensiblement repris sa cohésion primitive.

Pour voir si, dans ces conditions, la roche, sans se pulvériser, ne peut pas se déformer, par une sorte de ductibilité comparable à celle des *crushers* de cuivre qui servent de manomètre, j'ai soumis un cylindre de marbre de Carrare plein, c'est-à-dire sans fissure préalable, à une charge de densité de 0, 2, c'est-à-dire double de celles qui ont été employées dans la plupart des expériences, soit 2,400 atmosphères. Des sillons en croix, d'une profondeur de $0^{mm},3$, avaient été pratiqués sur l'une des bases, ainsi que sur le côté du cylindre. Le bruit intense qui s'est produit à la suite de l'explosion a immédiatement averti que, malgré le bouchon plein constitué par la roche, les gaz s'étaient fait jour en la brisant. D'ailleurs, le carton adhésif était criblé de poussières et de grains projetés en dehors, dont quelques-uns l'avaient traversé.

En effet, ce cylindre massif de marbre avait été perforé suivant son axe par un canal dont le diamètre moyen se rapprochait de celui de l'obturateur de cuivre et de l'enclume d'acier. En outre, il s'était exactement moulé sur les parois cylindriques et sur les bases du logement, en leur empruntant le poli, l'éclat métallique et les stries fines provenant du travail au tour. Les dimensions du cylindre s'étaient donc considérablement modifiées; le diamètre s'était accru de $21^{mm},1$ à 24^{mm}, et la hauteur réduite de $30^{mm},7$ à 24^{mm}. Les sillons creusés à l'avance étaient complètement effacés.

Dans une autre expérience, le marbre a manifesté la plasticité qu'il avait momentanément acquise en se moulant sur les nombreux fils de cuivre qui le cerclaient (fig. 5) et a pris de chacun d'eux une empreinte délicate.

Pour ce calcaire marbre, le grain saccharoïde s'est sensiblement atténué, en même temps que la roche, de translucide qu'elle était, est devenue opaque. Ce que la simple vue à la loupe faisait supposer

est confirmé par l'examen de plaques minces au microscope; la roche, après avoir été broyée en menue poussière, a immédiatement repris de la cohésion. A la base d'un cylindre ainsi comprimé, on remarque l'éclat spéculaire de la substance, devenue transparente et active sur la lumière polarisée : elle rappelle un large clivage cristallin.

Pour le gypse, les effets de plasticité sont tout particulièrement prononcés. J'en citerai deux exemples, les circonstances qu'ils présentent n'étant pas sans application géologique.

Un cylindre de gypse plein, placé dans le logement de l'éprouvette, s'y est complètement moulé par l'action des gaz explosifs. La hauteur du cylindre qui était de $31^{mm}1$ et son diamètre de $21^{mm}3$ sont, en effet, respectivement devenues $19^{mm}5$ et $23^{mm}5$. Le changement de forme a donc été complet. En même temps, la surface entière a acquis un poli éclatant qu'elle a emprunté au métal contre lequel le gypse a été embouti.

Outre l'éclat métallique qu'elle a acquis, comme si elle avait passé au brunissoir, des bandes parallèles grises ou noires dirigées suivant les arêtes, accusent bien le sens des mouvements moléculaires, qui ont accompagné la déformation.

D'ailleurs, la masse a pris une cohésion supérieure à celle de la roche naturelle et un grain notablement plus fin. Une plaque mince a montré une orientation générale des grains cristallins, conforme à celle qu'eut déterminé un écoulement suivant l'axe du cylindre.

Quoique l'obturateur et l'enclume entre lesquels le gypse se trouvait serré présentassent, comme à l'ordinaire, une ouverture centrale, cette fois les gaz n'en ont pas profité. Ils n'ont pas opéré de perforation, ou plutôt, ils se sont eux-mêmes fermé le passage, en subissant instantanément un véritable écoulement.

Comme autre preuve d'écoulement, ils ont poussé devant eux hors de l'orifice un jet à section circulaire ayant la forme d'un dé à coudre. A peine formé, ce jet a été violemment projeté jusqu'à la feuille de carton du chassis, sur laquelle ce projectile a fait une empreinte profonde.

Dans une autre expérience, le gypse s'est moulé de la même manière dans le logement de l'éprouvette, avec cette différence que les gaz l'ont corrodé jusqu'au tiers de sa hauteur, suivant deux larges sillons perpendiculaires entre eux; mais sans pouvoir opérer une perforation complète.

Dans chacune de ces deux expériences, contrairement à ce qui est arrivé presque toujours, aucun bruit n'a accompagné l'explosion; ce qui prouvait tout d'abord que les gaz, malgré leur énorme

tension, n'étaient pas parvenus à se frayer une issue jusque dans l'atmosphère.

Le phénomène de l'écoulement des corps solides, que Tresca a si bien et si complètement étudié dans les métaux et les pâtes plastiques, se manifeste donc aussi dans les roches, lorsqu'elles sont soumises à une force suffisamment énergique. Au lieu de la pression de 500 atmosphères à laquelle opérait Tresca, nous avons eu recours à celle de 1100 à 2300 atmosphères ; mais il n'est pas nécessaire d'arriver à cette dernière limite pour obtenir une *pression de fluidité*. Nous avons donc des exemples de broyage et de régénération de roches à l'état cohérent, qui paraissent ainsi avoir passé par un état plastique.

Quand on se reporte aux énormes pressions que les roches ont subies, lors des ploiements auxquels elles ont été si souvent soumises, on doit supposer qu'elles ont été parfois concassées et ressoudées, comme nous venons de le voir, à la suite d'un véritable *écoulement*.

Dans ces expériences, les conditions sont bien plus favorables à une soudure que lorsque l'air s'interpose nécessairement entre les grains d'une poussière; la roche se reconstitue instantanément, sans cesser d'être soumise à une forte pression. D'ailleurs, bien que la chaleur contribue certainement au résultat, on n'aperçoit dans les éléments réagglutinés aucune trace de fusion.

Ne serait-il pas légitime de rattacher ce phénomène à l'observation déjà ancienne de Dutrochet (1), qu'une surface *neuve* jouit d'une propriété attractive pour certains corps, propriété qu'elle ne possède plus au même degré au bout d'un temps très court?

Après s'être reconstitués comme on vient de le voir, le calcaire ordinaire et le marbre de Carrare ont présenté une schistosité concentrique à l'axe, comme si ces cylindres s'étaient débités en cylindres concentriques, ayant obéi successivement à la pression normale : ils rappellent les tubes d'une lunette. Il en est de même du granite. Ces résultats s'expliquent par les expériences qui ont imité les conditions où s'est produite la structure schisteuse dans les roches (2). En effet, c'est seulement par écoulement que ces roches ont pu se mouler, comme nous venons de le voir.

La schistosité s'est manifestée sous une autre forme encore (Fig. 2), dans les expériences où le calcaire de Marly-la-Ville était taillé en cylindres assez gros pour résister au broyage. Dans ce

(1) *Recherches sur la force épipolique*, 1842, T. I. p. 24.
(2) *B. S. G. F.*, 3e sér., t. IV, p. 529, 18.

cas, les feuillets produits ne sont plus concentriques, mais parallèles à la section diamétrale faite avant l'expérience. Cette orientation montre éloquemment que le changement de texture résulte d'un entraînement successif de feuillets, sous l'action des gaz ; malgré le temps si court (moins de quelques dix millièmes de secondes), l'expérience nous met en mesure de constater, comme à l'aide d'un chronographe d'un nouveau genre, une série d'actions mécaniques développées les unes après les autres.

QUATRIÈME PARTIE

LUMIÈRE JETÉE PAR L'EXPÉRIMENTANION SUR LA SORTIE DES MASSES ROCHEUSES A TRAVERS LES PERFORATIONS VERTICALES DE L'ÉCORCE TERRESTRE OU *DIATRÈMES*.

Les fluides élastiques emprisonnés sous fortes pressions dans les réservoirs souterrains, n'ont pas borné leur action à perforer des cheminées à travers l'écorce terrestre. Il ne leur a pas fallu plus de puissance, ni un mode d'opérer bien différent, pour faire monter vers la surface, et bien au-dessus, des masses rocheuses par les canaux que ces fluides avaient percés.

Telle peut être particulièrement l'origine de beaucoup des dômes trachytiques isolés, servant pour ainsi dire de couronnement à des diatrèmes, et en révélant l'existence qui, sans ces signaux souvent imposants, aurait passée inaperçue.

Un grand nombre de ces dômes, si ce n'est tous, ont dû surgir du sol à un état voisin de la solidité. Autrement on ne comprendrait pas le profil fortement incliné de tels amoncellements et souvent sur des hauteurs très considérables.

Les deux files parallèles entre elles, de cônes gigantesques, alignés sur le haut plateau de Quito, présentent un exemple typique de cette manière d'être.

Deux arguments principaux appuient la supposition que ces masses rocheuses ne sont pas arrivées fluides au jour, ni même pâteuses. D'une part, ainsi qu'on vient de le dire, loin de s'être affaissées sur elles-mêmes, comme il serait arrivé dans ce cas sous l'action de la pesanteur, elles se dressent majestueusement, de façon à dominer de plus de deux mille mètres le plateau environnant.

D'un autre côté, un état initial à peu près solide, rend aisé de comprendre l'existence, dans leurs flancs, de vastes cavités, sièges de lacs souterrains, dont le déversement, conjointement avec des fusions de neiges superficielles, a été plus d'une fois si funeste aux pays voisins, lors des convulsions du sol et dont les parois se sont

effondrées sur elles-mêmes, comme cela est arrivé en 1698 au Carguairazo. Il en a été de même pour le Nevado del Altar, l'ancien Capac-Urcu, de l'écroulement duquel la cîme actuelle, avec ses bords crénelés, témoigne si clairement, et, jadis célèbre par sa hauteur colossale, supérieure à celle du Chimborazo.

Les actions mécaniques qui ont donné naissance à des cônes ainsi isolés, à proximité desquels on n'aperçoit très souvent aucune dislocation exceptionnelle, due à des pressions horizontales, ont, sans doute, été bien différentes des refoulements qui ont présidé à la formation des chaînes de montagnes et des ploiements.

Des expériences actuellement en cours montrent que dans un même appareil et suivant les circonstances, les gaz déterminent, soit des perforations, soit des poussées ou *jets* de masses solides, auxquelles ils ont fait acquérir une véritable plasticité. Elles apprennent comment ces gaz à haute pression, emprisonnés dans un réservoir clos, sans faire le moindre bruit, sans se dégager au dehors, en un mot, sans révéler aucunement à la surface leur nature gazeuse, peuvent, par une sorte d'action latente, pousser violemment au dehors, en préominences arrondies, des masses tantôt grossièrement coniques, tantôt en forme de cloches, qui ont leurs analogues dans la nature.

C'est donc à des pressions du même caractère que celles d'où dérivent les canaux de sortie de ces roches ou diatrèmes, qu'il paraît légitime de rattacher, comme à leurs causes, les énergiques transports verticaux dont il s'agit.

Abstraction faite des frottements contre les parois des cheminées, on peut évaluer, avec une grossière approximation, la puissance nécessaire pour faire monter ces masses jusqu'aux hauteurs qu'elles atteignent au-dessus de la surface du sol.

Quand même l'on supposerait qu'elles ont été apportées de plusieurs dizaines de kilomètres de profondeur, la pression, alors mise en jeu, n'est sans doute pas hors de rapport avec celles que les explosifs permettent de réaliser expérimentalement. Du coton-poudre ou de l'acide picrique, à la densité de chargement de 0,5, produirait une pression de 9000 à 9600 kilogrammes par centimètre carré. Avec un chargement à la densité de 0,6, les appareils dont nous disposons ordinairement éclateraient: mais en appliquant la loi observée par des pressions moindres, ce dernier chargement conduirait à une pression de 14400 kilogrammes par centimètre carré. Si le degré de résistance des parois de nos éprouvettes apporte une limite à de telles expériences, il n'en est pas de même dans les profondeurs de l'écorce terrestre. Une rupture soudaine des

parois rocheuses amènerait, avec une expansion des fluides intérieurs, des transports de roches, ainsi que des vibrations sismiques.

D'ailleurs, une fois, ouvert, comme il l'est dans les volcans en activité, le canal doit fonctionner à la manière d'une soupape de sûreté et prévenir en général des accumulations de forces aussi énergiques que celles qui, originairement ont déterminé l'ouverture de la diatrème elle-même et la poussée de cônes trachytiques ou autres. Toutefois ces forces restent encore assez considérables pour faire comprendre ce qu'elles ont pu être, avant que l'appareil fût désarmé par un orifice permanent.

Enfin la succession des éruptions, avec des intermittences diverses, témoigne de la longue durée de la puissance motrice renfermée dans les réservoirs internes, peut être due à un mode d'alimentation qui le recharge, après un appauvrissement, ainsi que j'ai cherché autrefois à le montrer (1).

Bien que la hauteur des dômes de trachytes et d'autres roches éruptives récentes soit des plus variables, depuis le niveau de la mer et au-dessous, jusqu'à l'altitude de près de 7000 mètres qu'atteint l'Aconcagua, cependant il est très remarquable qu'un certain *assortiment* préside à leur distribution. Malgré l'association fréquente dans une même région, d'altitudes diverses, que l'on peut expliquer par des circonstances accessoires, les très grands sont localisés dans certaines régions ; les moyens en d'autres et les petits ailleurs encore.

Les volcans les plus élevés du globe, avec des hauteurs de 7000 à 6000 mètres, sont réunis dans les Cordillères du Pérou et de la Bolivie (Aconcagua, 6834^{m} (2) ; Gualatieri ou Sahama, 6990^{m}. Llulaillaco, 6000^{m}).

Plus au nord, dans la République de l'Equateur, sur le plateau de Quito, se dressent les seize gigantesques cônes volcaniques, déjà cités et qui se pressent sur 180 kilomètres seulement; ils présentent un exemple des plus remarquables de cette uniformité de taille. Dominés par le dôme superbe du Chimborazo, les principaux varient de 5900 à 5300 mètres : le Cayambe-Urcu, dont le sommet est exactement sous l'équateur (5919^{m}) ; le Cotopaxi, si régulier dans sa forme conique (5753^{m}) ; le Carguairazo, qui, depuis qu'il s'est partiellement écroulé, est réduit à une hauteur de 5740^{m} ; le Capac-

(1) Expériences sur la possibilité d'une infiltration capillaire, au travers des matières poreuses, malgré une forte contre-pression de vapeur ; application possible aux phénomènes géologiques (*B. S. G. F.*, 2e sér. t. XVIII, p. 193, 1861).

(2) Parmi les chiffres, parfois différents, proposés pour les altitudes d'une même montagne, j'ai cru devoir adopter de préférence ceux que donne l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*.

Urcu, qui, conserve encore 5520^{m}, après avoir subi le même sort ; les pyramides d'Ilinissa dont l'aspect rappelle aussi des ruines, 5315^{m}, et le Sanghay, sans cesse actif, à 5300^{m}.

Des similitudes du même ordre se retrouvent dans l'Amérique du Nord, sur le bord de l'Océan pacifique, au nord du Mont Shasta, en Californie (4402^{m}). Tels sont, entre les 45e et 48e degrés de latitude, dans la chaîne des Cascades : le Pic Hood (3421^{m}) ; le Mont-Saint-Helen (4000^{m} ou environ) ; le Mont-Rainier (3766^{m}) ; le Mont-Baker (3383^{m}). A un autre module appartiennent : le Mont-Brown (4876^{m}) et le Mont-Hooker (4784^{m}) ; puis, encore plus au nord, dans la Colombie Anglaise, le Mont Fair-Weather (4482^{m}) et enfin le Mont-Saint-Elie, situé vers l'inflexion brusque de l'Aljaska, avec cette même altitude (4568^{m}).

Dans l'ancien continent, comme conformité du même genre, nous voyons les cônes trachytiques du Savala (4814^{m}), du Kasbek (5043^{m}), de l'Elbrouz (5647^{m}) ; du Grand-Ararat (5157^{m}), altitudes voisines encore de celle du Demavend (5665^{m}). Non loin, un autre groupe, avec des hauteurs moindres, comprend le Mont-Argée (3841^{m}) ; le Sipan Dagh, près du lac de Van (3940^{m}) ; le Bingueul Dagh, près d'Erzeroum, dont le sommet est à 3752^{m}, et le volcan Tandareck (3832^{m}).

Dans la rangée de l'île de Java, longue d'un millier de kilomètres, il existe une centaine de pics volcaniques dont 45 sont des volcans actifs. A la suite du Semerou, 3729^{m}, le plus élevé de tous et la montagne sacrée par excellence, un bon nombre sont compris entre 3600 et 3000^{m}, comme le Idjen Raun (3330^{m}).

Parmi les volcans de l'île de Sumatra, qui rivalisent avec ceux de Java, M. l'ingénieur Verbeek en a signalé récemment quatre, sur une distance de 20 kilomètres, qui sont compris de 939^{m} à 715^{m} (1).

Les volcans des îles Sandwich sont des plus remarquables, non seulement par leur mode spécial d'activité, que Dana a si bien décrit à la suite de deux voyages d'exploration exécutés à un intervalle de 45 années (2), mais aussi par leur situation dans la grande dépression de l'Océan Pacifique. Les deux plus élevés d'entr'eux, le Mauna Loa et le Mauna Kea, situés dans l'île d'Hawaï, et distants de 48 kilomètres, ont la même altitude, 4463^{m} et 4303^{m}.

Il importe d'ajouter que la mer avoisinant ces deux sommités grandioses présente des abîmes de 5000 à 6000 mètres de profondeur ; de sorte que les hauteurs de ces poussées volcaniques,

(1) *Sumatra's West-Kust.* Batavia 1883.

(2) On the volcanoes and volcanic phenomenas at the Hawaïan Islands. *American journal*, t. 33 à 37. 1887-1889.

comptées à partir du fond de la mer, seraient de plus de 10000 mètres.

Vers les latitudes boréales élevées, nous trouvons en Islande le Skaptar Iockull, 1947m ; l'Hecla, 1634m ; et dans l'île de Jan Mayen, le Beerenberg, 2139m de hauteur.

Aucune coïncidence dans les altitudes n'est plus remarquable que celle des deux magnifiques volcans découverts par Ross au milieu des glaces australes, par 70° de latitude. L'Erebus et le Terror sont aussi voisins hypsométriquement (3900m et 3400m) que géographiquement.

Ces similitudes de hauteur entre les volcans d'un même groupe sont d'autant plus dignes d'attention pour beaucoup de montagnes d'altitudes tout à fait exceptionnelles qu'elles paraissent déceler un lien de parenté entre ces cônes, bien que leur isolement à la surface du sol, et souvent leur éloignement mutuel, portent à les supposer tout à fait indépendants.

Grâce aux expériences relatives à la reproduction artificielle des diatrèmes, nous sommes à même de nous faire une idée de la raison possible de cette localisation d'altitudes diverses. C'est comme si chacune d'elles correspondait à une pression maxima, émanant d'un même réservoir infra-granitique, ou de réservoirs semblables, dont elle donnerait la mesure de pression, à la façon du tube d'un véritable manomètre à air libre.

Cette hypothèse nous permet en outre d'expliquer, et aurait même pu faire prévoir les divergences qu'on observe en chaque région. Deux causes différentes de ces écarts de hauteurs se laissent entrevoir, d'après les résultats des expériences.

Dans certains cas, l'affaiblissement de la pression proviendrait de pertes latérales ou *fuites* des gaz moteurs, que dans notre éprouvette manométrique et malgré des obturateurs soigneusement travaillés, il est si difficile d'éviter et qui ont dû se donner libre carrière dans la nature.

Non moins fréquemment, et par un procédé en quelque sorte opposé, les effets mécaniques ont pu être réduits, par suite de l'obturation automatique des canaux d'alimentation, obturation produite par le fait même des matériaux détritiques mis en mouvement. Ce serait analogue au résultat de plusieurs de nos expériences de perforation, notamment sur le gypse, où le canal de sortie ouvert par les gaz explosifs a été aveuglé, par suite de la rapidité avec laquelle les masses triturées se précipitaient. Se régénerant immédiatement en masses cohérentes, ces matériaux constituaient instantanément un bouchon imperméable aux gaz.

A part ces causes énergiques d'atténuation ou même d'annulation,

dans les poussées verticales, sortes de *ratés*, si l'on ose s'exprimer ainsi, il faut encore, pour comparer les hauteurs des cônes volcaniques, tenir compte des démolitions souvent considérables et très inégales, que ces cônes ont subies, soit par éboulements, soit par des écroulements sur elles-mêmes, comme on en a de mémorables exemples pour bien des montagnes, dans les Andes, à Java et ailleurs.

Remarquons, d'autre part, qu'à l'époque actuelle, pendant un laps de temps comparativement bien court, un même appareil volcanique offre des écarts non moins considérables dans les altitudes qu'atteignent ses diverses éruptions. Ainsi, à l'Etna, lorsque la lave, au lieu de jaillir vers la base, comme en 1603 ou en l'an 396 avant notre ère, s'élève jusqu'au voisinage du sommet, ainsi qu'il est arrivé pour l'une des trois bouches de 1832, elle manifeste des différences de niveau de plus de 2000 mètres.

C'est ainsi, pour le dire en passant, que l'on peut comprendre, malgré leur proximité mutuelle, les divergences de hauteurs des montagnes volcaniques de la Sicile et de l'Italie méridionale.

Les considérations qui précèdent s'appliquent aux roches volcaniques anciennes, pour lesquelles une tendance marquée vers l'égalité de niveau, se manifeste fréquemment.

Ainsi les proéminences phonolithiques et basaltiques qui, par centaines, hérissent le Mittelgebirge de la Bohême et lui donnent un aspect si singulier, offrent la forme de cônes à bases grossièrement circulaires, dont les altitudes prédominantes avoisinent 700 mètres.

La France nous présente un fait rentrant dans cette catégorie, qui n'est sans doute pas l'effet du hasard et qui, jusqu'à présent, ne paraît pas avoir été interprété. Les deux massifs du Mont-Dore et du Cantal, malgré leur indépendance à la surface du sol, obéissent comme à une discipline et mesurent la même hauteur : 1886 m. et 1858^{m}. Serait-ce par hasard qu'à plus de 300 kilomètres de distance, la sommité de notre troisième grand massif volcanique, le Mezenc, participerait, à peu près, à la même altitude, 1754 m.?

Selon leur degré de consistance, lors de leur arrivée sur le sol, les roches éruptives ont pris des formes différentes. Tantôt, lorsquelles étaient de nature basaltique ou qu'elles étaient particulièrement chaudes, elles se sont épanchées et superposées en coulées ou nappes, sous des formes très surbaissées, comme à l'Etna ou au Mauna Loa ; tantôt, à peu près solides, ainsi qu'il est arrivé souvent pour les trachytes, la roche s'est dressée fièrement en protubérances à pentes beaucoup plus fortes ; le Puy-de-Dôme, le pic de Ténérife, l'Ararat, le Cotopaxi, le Fousi-Yama et d'autres innombrables montagnes nous en offrent des exemples.

Dans un cas comme dans l'autre, que la montagne volcanique ait été l'objet d'entassements successifs ou qu'elle soit le résultat d'une poussée unique, les masses qui émanaient d'un même réservoir souterrain, c'est-à-dire qui cédaient à une même pression, ont dû avoir une tendance à se niveler.

Tels sont les cônes de travertin de Hamman-Meskoutine, dont chacun, comme on sait, s'exhausse graduellement, jusqu'à ce que la source n'ait plus assez de pression pour dépasser le niveau général : sous une forme aqueuse, ces cônes nous donneraient une idée du phénomène igné.

Les masses éruptives en conformité d'altitude paraissent souvent différer par leur âge, mais on conçoit que, pendant de longs laps de temps, les pressions motrices des laboratoires souterrains aient pu persister ou s'alimenter dans des conditions similaires.

Bien que très variées dans leur nature lithologique et dans les formes qu'elles ont prises à la surface du sol, les éruptions auxquelles les diatrèmes ont servi de canaux, — qu'il s'agisse de dômes, ou de coulées — ont entre elles un lien de famille qu'expliquent les expériences. Aussi, parait-il commode, pour des considérations générales, telles que celles qui viennent de nous occuper, de désigner l'ensemble de ces masses éruptives par une dénomination unique etcosmopolite. Le nom d'*ecphysème* (1) qui, dès l'antiquité désignait une « chose rejetée par un souffle » et que le dictionnaire d'Hesychius définit ainsi « pierres sortant de la terre et dominant le sol » paraît fait à souhait pour l'ensemble des materiaux que nous avons en vue (2).

» Les diatrèmes se présentent à la surface de la Lune avec une abondance incomparablement plus grande que sur la Terre, et il est intéressant de noter aussi, pour les aspérités isolées, une sorte de classement géographique, suivant les altitudes. Ainsi, les plus élevés que l'on connaisse à la surface de notre satellite, sont situés dans le voisinage du pôle austral (mont Dœrfel, 7600^{m}; mont Casatus, 6956^{m} ; mont Curtius, 6769^{m} ; montagne annulaire de Newton, 7264^{m}). (3) »

Dans la Lune, comme pour la Terre, nous trouvons des manifestations de *poussées verticales, produites par des explosions de fluides élastiques émanant d'actions internes.* Plusieurs des conclusions

(1) Du mot grec ἐκφυσημα.

(2) D'après les renseignements que je dois à l'obligeance de mon savant confrère M. Croizet, une « chose rejetée par un souffle » et que le dictionnaire, d'Hesychius définit ainsi « pierres sortant de la terre et dominant le sol ».

(3) Amédée Guillemin, *Le Ciel*, 5e édition, p. 358.

auxquelles nous avons été expérimentalement conduit sur la perforation des diatrèmes à travers l'écorce terrestre et la sortie des masses qui en ont débouché peuvent être applicables à certains traits de l'écorce lunaire.

OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES.

FUSION, ÉTONNEMENT ET AUTRES EFFETS DE LA CHALEUR INSTANTANÉE, PRÉSENTÉS PAR DIVERSES SUBSTANCES NATURELLES OU ARTIFICIELLES, TELLES QUE LE GRANITE, LES VERRES ET LES MÉTÉORITES.

Dans les expériences dont il s'agit, malgré l'extrême rapidité de leur action sur les roches, les gaz déterminent, en général, une fusion sur les surfaces qu'ils lèchent. Il ne faut pas oublier, en effet, que leur température est d'environ 2500° au moment de l'explosion.

A la surface du granite, le feldspath se fond en globules blancs, ressortant en saillie, ainsi que les lamelles de mica qui ont été ramollies. Quant aux grains de quartz qui, nécessairement, ont résisté à la fusion, ils paraissent creusés, comme par une érosion, rappelant un peu celle qu'y produirait de l'acide fluorhydrique. L'échauffement brusque de leur surface, en déterminant une dilatation très inégale, détache des esquilles comme par une sorte d'*étonnement*. C'est un fait analogue à ce qui s'est produit dans des expériences où j'ai perforé le quartzite, à l'aide du chalumeau au gaz hydrogène et oxygène (1).

Sur les parois des fissures de la fonte qui donnent passage aux gaz, on a obtenu des bourrelets annonçant un ruissellement de la matière fondue, et qui, pour ainsi dire, dessinent le trajet du courant érosif. Ce résultat est comparable à ceux que présente la croûte de beaucoup de météorites, surtout de celles dont la masse admet des feldspaths ou d'autres minéraux fusibles.

Des gouttelettes transparentes, ressemblant à une sorte de rosée vitreuse, couvrent les surfaces du verre et du cristal soumis au gaz de l'explosion. Cette rosée est composée de petits globules, réunis entre eux par une substance qui est transparente et remplie de myriades de bulles gazeuses ; cette sorte d'écume agit faiblement, en quelques parties, sur la lumière polarisée, sans doute à la suite de la trempe qu'a subie cette pellicule externe.

En certaines portions (fig. 20), cette matière est striée d'une façon

(1) *Annales des Mines*, 5e série, t. XIX, p. 23; 1861.

remarquable, parfois avec une disposition *pennée*, qui tient au moulage des sillons creusés dans le cristal par le passage des gaz. Les surfaces d'éclatement du cristal présentent, en effet, des configurations très singulières. En quelques points se montrent des

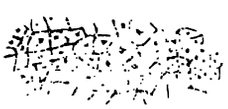
Fig. 20.

Surface d'éclatement de cristal présentant, par suite du contact des gaz explosifs, des sillons et des rigoles suivant une disposition pennée. — Grossissement de 35 diamètres.

polygones juxtaposés (fig. 21), à la façon des cellules d'un gâteau de miel, dont la dimension moyenne est de $1^{mm}5$, polygones se présentant comme les bases de pyramides concaves, à faces courbes et très surbassées. A leur sommet se présente très fréquemment une sorte d'ombilic ou dépression hémisphérique très singulière.

Contrairement à ce qu'on aurait pu supposer, les nombreux fragments en lesquels ces cylindres de verre et de cristal ont été

Fig. 21.



Surface d'éclatement de cristal, présentant des polygones juxtaposés, bases de pyramides concaves. — Grossissement de 3 diamètres.

réduits ne présentent pas d'indice de double réfraction : on en doit conclure qu'ils n'ont pas subi de trempe, bien qu'il y ait eu des effets de fusion superficielle et d'étonnement ; sans doute l'action de

la chaleur a été trop rapide. C'est peut-être pour la même cause que le quartz perforé a conservé sa double réfraction normale, d'après l'examen que M. Des Cloizeaux a bien voulu en faire.

Pour les météorites, l'injection des gaz y a déterminé un aspect tout nouveau. De toutes parts, la roche s'est noircie et, non seulement à sa surface, mais dans des parties très profondes. En d'autres termes, il s'y est développé des veines noires, du même genre, d'ailleurs, que celles dont la pierre était déjà pourvue, mais bien plus larges et en bien plus grand nombre.

Des lames minces coupées en diverses directions et étudiées au

Fig. 22.

Coupe de le météorite de Pultusk, montrant les veines noires, produites dans la roche par le contact des gaz chauds. — Grossissement de 35 diamètres.

microscope montrent (fig. 22) que ce noircissement est *identique* à celui que détermine l'application de la chaleur rouge sur la roche météoritique. On peut en résumer tous les caractères en disant que la substance, d'abord grise, qui fait le fond des pierres des types les plus communs, s'est transformée dans la substance noire qui fait le fond des pierres de Tadjera et de Koursk, conformément aux résultats antérieurement signalés par M. Stanislas Meunier.

Au point de vue de la forme des zones noires artificiellement produites, l'expérience fournit des documents nouveaux.

Ainsi, chacune des parois d'une même fissure noircie est pourvue d'une marge noire, bien plus nettement délimitée qu'on ne l'a jamais constaté dans les météorites naturellement marbrées. Cette circonstance vient sans aucun doute de ce que l'échauffement, lors de l'explosion expérimentale, est beaucoup plus subit et moins prolongé qu'il ne l'a été dans la nature.

Mais cette différence si sensible pour les marbrures se change en identité pour l'écorce externe, et l'on peut dire avec assurance que le cylindre de la pierre de Pultusk soumis à l'explosion a

Fig. 23.

Coupe de la météorite de Pultusk montrant la reproduction, sous l'action des gaz chauds, de la croûte noire caractéristique de la surface naturelle des météorites. — Grossissement de 35 diamètres.

procuré (Fig. 23) la première reproduction artificielle de la croûte noire des météorites. Celle-ci, comme on sait, consiste avant tout en matériaux noircis, mais non fondus, de sorte que les météorites entièrement noires, comme celle de Tadjera, ne possèdent jamais de croûte. En outre, dans la météorite naturelle, elle est nettement limitée à une profondeur qui témoigne de l'épaisseur de la zone où la chaleur développée pendant le trajet atmosphérique a vaincu le froid, dont la masse cosmique était comme imprégnée. La soudaineté du coup de feu dans l'éprouvette a reproduit des conditions parallèles, et tous les caractères de la croûte se trouvent ici exactement imités.

L'excessive vitesse des filets gazeux subitement engendrés par les explosifs explique aisément l'énergie des effets calorifiques produits en quelques dix-millièmes de seconde et qui viennent d'être successivement décrits dans ce paragraphe.

Conclusion.

La longue série des faits qui viennent d'être exposés, en témoignant de l'incomparable puissance des gaz à hautes températures, doués de très fortes pressions et de mouvements fort rapides, justifie

l'application qu'on en peut faire à divers chapitres de l'histoire du globe.

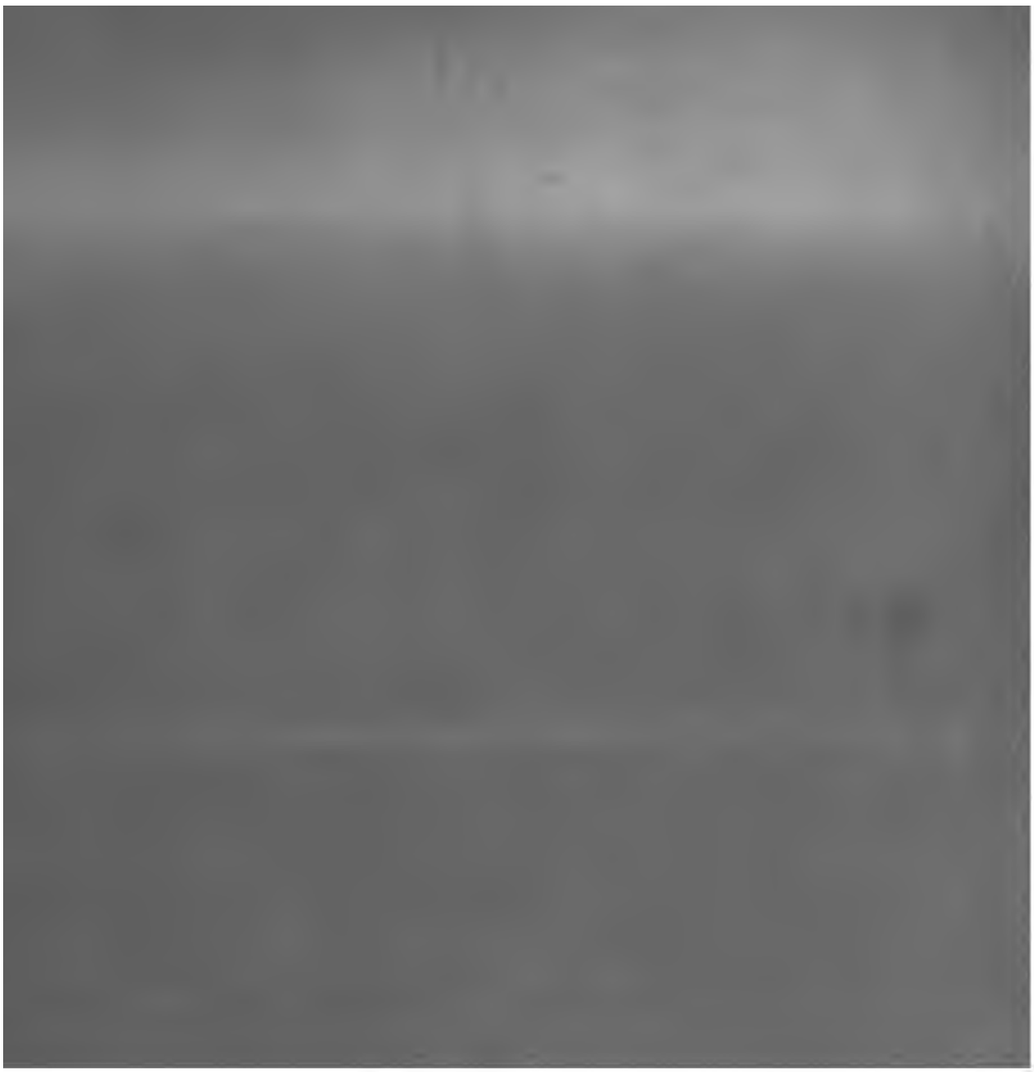
L'ouverture des canaux perforés ou diatrèmes, qu'ils soient diamantifères, volcaniques ou autres; le concassement des roches; leur régénération par une apparente plasticité, sous l'influence d'efforts mécaniques, ainsi que leur écoulement; le transport de leurs débris, menus fragments et poussières; leur arrivée en masse jusqu'à la surface du sol et souvent bien au-dessus, ne représentent peut-être pas toutes les directions où la nouvelle méthode expérimentale pourra s'appliquer, et ce qui a été dit des météorites montre déjà qu'elle peut s'attaquer à un domaine plus vaste encore que celui de la Terre.

Pour les cheminées des diverses catégories, examinées plus haut, diamantifères, volcaniques ou injectées de roches éruptives, il y a lieu d'insister sur leur fréquence dans l'écorce terrestre et sur leur gisement en très grand nombre dans certaines régions, où c'est par centaines qu'on peut les compter, et sans préjudice de la parenté des laboratoires d'où elles émanent. Et il faut ajouter que, lors même qu'elles sont peu distantes entre elles, elles se montrent indépendantes les unes des autres, quant au mécanisme de leur percement.

Non moins que les manifestations volcaniques elles-mêmes, les phénomènes qui nous occupent témoignent bien éloquemment de l'existence d'une haute température dans les régions internes du globe.

Le contraste est frappant entre les formes habituelles de rupture de l'écorce terrestre et les diatrèmes. La disposition linéaire dans l'orientation et le parallèlisme, qui sont les traits dominant des premières, qu'il s'agisse de plissement ou de cassures (paraclases ou diaclases), n'appartiennent pas essentiellement aux dernières. C'est comme un reflet d'un contraste complet dans les causes originelles. Tandis que les *dislocations linéaires* dérivent plus ou moins directement de pressions *horizontales*, de refoulements de l'écorce du globe, concomitants à la contraction de ses parties internes, les *dislocations topiques* ou diatrèmes, au contraire, sont, comme on vient de le voir, le résultat d'efforts concentrés sur un *point unique*, de *poussées verticales* de masses gazeuses, douées de fortes pressions et animées de très grandes vitesses : une sorte de coup de canon, dont l'âme serait une diatrème qui viserait le zénith.

LILLE — IMPRIMERIE LE BIGOT FRÈRES



INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CXIII; séance du [illegible] 1891.

Recherches expérimentales sur le rôle probable des gaz à hautes températures, doués de très fortes pressions et animés d'un mouvement fort rapide, dans divers phénomènes géologiques;

Par M. DAUBRÉE.

CINQUIÈME PARTIE. — TRANSPORT ET ÉCOULEMENT DE ROCHES, SOUS L'INFLUENCE DES GAZ AGISSANT A DE FORTES PRESSIONS.

Si les fluides élastiques, emprisonnés sous de fortes pressions, ont perforé des cheminées à travers l'écorce terrestre, ils ont dû avoir la puissance de faire monter vers la surface et bien au-dessus des masses rocheuses par les canaux antérieurement percés.

A l'appui des considérations déjà présentées [1], j'ai procédé à quelques expériences nouvelles qui ont été faites, comme précédemment, au laboratoire des Poudres et Salpêtres, avec le précieux concours de M. Vieille.

J'ai montré précédemment que le phénomène de l'écoulement des corps solides, si bien étudié par Tresca dans les métaux et dans les pâtes

[1] Pour les quatre premières Parties, voir *Comptes rendus*, t. CVI, p. 767 et 853; t. CXII, p. [illegible] et [illegible].

D.

astiques, se manifeste aussi dans les roches. Le gypse, le marbre de ırrare, la limonite oolithique et d'autres masses minérales se sont *écoulés*, ıus l'énergique poussée des gaz explosifs, et ont repris une cohésion au oins égale à celle qu'ils avaient d'abord.

» Dans quelques cas, la roche, tout en se moulant dans l'éprouvette, ›usse, au dehors, des protubérances, en forme de dé à coudre.

» Il était intéressant d'étudier, par d'autres procédés, des conditions fréquemment réalisées dans la nature et de chercher de nouveau à pro›quer la sortie, par écoulement, de ces roches hors de l'éprouvette, sur paroi de laquelle elles constitueraient alors de véritables cônes éruptifs.

» La matière sur laquelle on voulait exercer une poussée a été disposée ıus la forme de rondelles, et substituée au cylindre de roche, dans le logeent de l'appareil employé précédemment à l'étude expérimentale des ›rforations ou diatrèmes et des phénomènes connexes. J'ai eu recours abord au plomb seul, puis à des roches.

Expériences.

» *Première expérience.* — Trente rondelles de plomb, ayant moyennement un peu ıs de $1^{mm},5$ d'épaisseur, ont été réunies de manière à constituer un cylindre, entre canal de fuite et un obturateur ouvert dans sa partie centrale.

» La charge de coton-poudre était, comme d'ordinaire, à la densité de 0,1 ; la pres›n correspondante est de 1100 atmosphères.

» Au moment de l'inflammation, un fort bruit a annoncé que les gaz s'étaient ıyé une issue. Tout le plomb avait été, en effet, violemment chassé au dehors.

» Au milieu des formes irrégulières que les rondelles ont acquises, on distingue une rie de capsules circulaires, dont beaucoup sont emboîtées les unes dans les tres.

» Le diamètre d'un certain nombre de capsules excède celui du canal de fuite, par ıuel cependant elles sont sorties. Cela paraît résulter d'un mécanisme bien connu ns les projectiles : l'avant étant arrêté au moment du choc, tandis que la partie ırrière continue sa marche.

» Tout le métal cependant n'a pas été expulsé au dehors de l'éprouvette. Entre l'obrateur et le fond du logement, des séries de rondelles de plomb ou plutôt des ıctions de rondelles sont restées pincées. Elles ont été évidées circulairement et mme poinçonnées, au diamètre du canal de fuite, avec la même netteté que si elles aient été coupées à l'emporte-pièce. Sur cette sorte de collerette, le plomb s'est conlérablement aminci et comme laminé; l'étirage a été particulièrement intense le ıg des bavures relevées rectangulairement contre les parois du canal de fuite.

» Une section suivant l'axe des lingots formés par la réunion de rondelles écoulées montre la structure. Les feuillets constituants, amincis sur leurs bords, ont consirablement gagné en épaisseur vers leur région centrale, qui est repoussée en conoïde ɜu, jusqu'à mesurer plus de trois fois leur dimension primitive.

» C'est, malgré la différence dans les causes motrices, un trait de re semblance avec les roches contournées, et il s'y ajoute un caractèr encore plus frappant au point de vue géologique : c'est le décollemen partiel des feuillets superposés, reproduisant ainsi une disposition fré quente dans les stratifications disloquées et que connaissent bien les mi neurs, à raison des substances métalliques auxquelles ces vides ont par fois servi de réceptacle.

» *Deuxième et troisième expériences.* — Dans deux autres expériences, bien qu les circonstances de la première aient été à peu près reproduites, les résultats or été différents.

» D'abord l'explosion ne s'est pas annoncée par une détonation; un simple siffl ment assez faible, correspondant à l'échappement graduel des gaz, a été le seul résu tat sonore de l'explosion.

» Les rondelles sont restées planes sur 35^{mm}, c'est-à-dire presque toute la hauteu du cylindre et les déformations n'intéressent que la région voisine de l'orifice de sorti Elles consistent en protubérances beaucoup plus surbaissées que précédemment munies d'un rebord annulaire, qui en fait comme une miniature d'assiette à potage.

» La différence entre ces résultats et ceux de la première expérience peut provenir d'un moindre jeu laissé aux rondelles sur les parois, le frot tement ayant absorbé une partie de la force qui eût été nécessaire pou fournir le jet par l'orifice de fuite.

» *Quatrième expérience.* — Les trente rondelles de plomb étaient disposées dar l'appareil comme précédemment. On a interposé à leur base, c'est-à-dire du côté d l'explosif, une rondelle de fer.

» Cette fois encore on n'a perçu aucun bruit, ce qui prouvait que les gaz ne s'étaier pas instantanément ouvert une issue. Mais, tout en restant renfermés dans l'éprouvett ces gaz ont produit des effets considérables et inattendus et cela, jusque bien en de hors des limites de la chambre.

» Ces effets se présentent sous deux formes très distinctes.

» A la base du cylindre, du côté de l'intérieur, sur une épaisseur de 26^{mm}, soit er viron moitié de la hauteur de la colonne, les rondelles sont restées planes tout en s moulant sur les parois du logement. Quelques-unes se sont intimement soudées entr elles.

» Pour les rondelles plus rapprochées du canal de fuite, elles ont été déformées d'ur manière plus ou moins considérable, d'après l'ordre de chacune d'elles par rapport l'extérieur. Elles se sont écoulées à la manière de ce qu'ont appris les belles exp riences de Tresca. En pinçant leurs bords, la pression a déterminé pour chacur d'elles un écoulement vers le centre qui, par suite, a subi un épaississement notabl Si l'on passe ainsi des rondelles de l'intérieur vers les plus voisines du dehors, on vo la déformation s'accentuer; après une légère proéminence à peine sensible, elles or pris des formes conoïdales de plus en plus aiguës.

» Après ces essais relatifs au plomb employé seul, j'ai voulu me ra cher davantage des conditions naturelles, en associant au métal de tières rocheuses.

» Le gypse d'Argenteuil, la marne supra-gypseuse de Pantin, la n bitumineuse tertiaire de Menat, coupées en rondelles de 2^{mm} à 5^{mm} d'e seur, ont été interposées de diverses manières entre des rondelles de pl

» *Expériences diverses sur les roches associées au plomb.* — A la suite de si delles extérieures de plomb furent placées une rondelle de gypse de 5^{mm}, puis d' de marne, alternant avec des rondelles de plomb. A la base du cylindre était u turateur ouvert.

» Une caisse remplie de frisure de bois et couverte d'une toile avait été place médiatement au-dessus de l'éprouvette, afin d'arrêter tout ce qui pourrait être p au dehors.

» Les résultats ont différé suivant la densité de la charge :

» 1. Dans l'une d'elles, la charge avait été portée à la densité de 0,15, moiti forte que d'ordinaire.

» La matière a été à peu près en totalité projetée au dehors, comme dans l mière expérience.

» Ce sont également des capsules emboîtées les unes dans les autres, et quelq si solidement qu'elles paraîtraient soudées. La première, qui est venue frapper tement la toile, a pris le moulage de son tissu, de la manière la plus délicate.

» Les feuillets de roches ont été laminés et, sans doute, à cause de leur ex minceur, expulsés latéralement par le métal.

» Les capsules présentent, pour la plupart, sur leurs deux surface fortes stries, dues au frottement mutuel avec les capsules conti Elles sont dirigées dans le sens du mouvement et irradient à part sommet des conoïdes. Leur ressemblance est intime avec des acci fréquents dans les couches, les crochons et d'autres contournemen roches.

» La collerette restée à l'intérieur de l'appareil se compose de la rondelle qui a conservé son épaisseur et d'une série de rondelles de plomb très minces, lesquelles on distingue aussi les feuillets des roches qui ont été laminées.

» 2. Pour une autre expérience on est revenu à la charge ordinaire de densité

» Cette fois les rondelles sont restées planes sur environ les deux tiers de la ha du cylindre, à partir de la base; sur le dernier tiers, c'est-à-dire du côté extérie voit s'accentuer les déformations, à mesure qu'on s'approche du dehors. Au lie bombement en calottes à peu près sphériques, on a eu un simple plissement irrégulier, probablement parce que la marne a inégalement cédé. Toutefois ce p ment, auquel les marnes ont elles-mêmes participé, indique bien un écoulemen le centre.

» Quant aux trois disques externes, ils se sont emboutis en calottes circulai

les deux extrêmes ont été projetés au loin, par le contre-coup. Ceci explique un fait observé dans les expériences antérieures, savoir que les protubérances de roches poussées au dehors de l'éprouvette ont été aussi projetées avec force en l'air.

» 3. Enfin dans deux autres expériences, où l'on a pris les charges intermédiaires, à la densité de 0,12 et de 0,11, et l'obturateur étant plein, les résultats ont été plus satisfaisants.

» Pour ces derniers cas, les gaz sont restés complètement emprisonnés; aucun bruit ne s'est produit, si ce n'est un léger cliquetis dû à la mise en tension des pièces métalliques de l'appareil, ainsi qu'il arrive avec les explosifs rapides.

» Les rondelles de roches se sont comportées tout à fait comme celles de plomb; c'est le même mode d'écoulement. Poussées hors de l'orifice, elles prennent également la forme de protubérances conoïdales, de différents degrés d'acuité.

OBSERVATIONS.

» On voit que les résultats varient assez notablement selon les circonstances, surtout avec la charge et l'ajustement plus ou moins parfait des rondelles.

» Quand la pression n'est pas assez forte pour projeter tout au dehors, les pièces inférieures restent planes; elles transmettent le mouvement à celles qui avoisinent le dehors. Cette poussée énergique, transmise par les premières rondelles aux dernières, à la manière de ce qui se produit pour les billes d'ivoire disposées en file, dans l'expérience classique de Mécanique, a parfois déterminé une protubérance conoïdale et s'élevant, sous une forme aiguë, au-dessus de l'orifice (1).

» Bien que très variées dans leur nature lithologique et dans les formes qu'elles ont prises à la surface du sol, les éruptions auxquelles les diatrèmes ont servi de canaux, qu'il s'agisse de dômes ou de coulées, ont entre elles un lien de famille, qu'expliquent les expériences. Aussi paraît-il commode, en vue de considérations générales, telles que celles qui viennent de nous occuper, de désigner l'ensemble de ces masses éruptives, auxquelles on peut ajouter les cônes scoriacés, certains amas cylindroïdes de conglomérats de roches ignées et les *kopyes* de la région diamantifère de l'Afrique australe, par une dénomination unique et cosmopolite. Le nom d'*ecphysème* (2) qui, dès l'antiquité, désignait « une chose rejetée par un souffle » et que le Dictionnaire d'Hésychius définit ainsi : « pierres

(1) Cette protubérance a atteint 36mm.

(2) Du mot grec ἐκφύσημα.

l'application qu'on en peut faire à divers chapitres de l'histoire du globe.

L'ouverture des canaux perforés ou diatrèmes, qu'ils soient diamantifères, volcaniques ou autres; le concassement des roches; leur régénération par une apparente plasticité, sous l'influence d'efforts mécaniques, ainsi que leur écoulement; le transport de leurs débris, menus fragments et poussières; leur arrivée en masse jusqu'à la surface du sol et souvent bien au-dessus, ne représentent peut-être pas toutes les directions où la nouvelle méthode expérimentale pourra s'appliquer, et ce qui a été dit des météorites montre déjà qu'elle peut s'attaquer à un domaine plus vaste encore que celui de la Terre.

Pour les cheminées des diverses catégories, examinées plus haut, diamantifères, volcaniques ou injectées de roches éruptives, il y a lieu d'insister sur leur fréquence dans l'écorce terrestre et sur leur gisement en très grand nombre dans certaines régions, où c'est par centaines qu'on peut les compter, et sans préjudice de la parenté des laboratoires d'où elles émanent. Et il faut ajouter que, lors même qu'elles sont peu distantes entre elles, elles se montrent indépendantes les unes des autres, quant au mécanisme de leur percement.

Non moins que les manifestations volcaniques elles-mêmes, les phénomènes qui nous occupent témoignent bien éloquemment de l'existence d'une haute température dans les régions internes du globe.

Le contraste est frappant entre les formes habituelles de rupture de l'écorce terrestre et les diatrèmes. La disposition linéaire dans l'orientation et le parallèlisme, qui sont les traits dominant des premières, qu'il s'agisse de plissement ou de cassures (paraclases ou diaclases), n'appartiennent pas essentiellement aux dernières. C'est comme un reflet d'un contraste complet dans les causes originelles. Tandis que les *dislocations linéaires* dérivent plus ou moins directement de pressions *horizontales*, de refoulements de l'écorce du globe, concomitants à la contraction de ses parties internes, les *dislocations topiques* ou diatrèmes, au contraire, sont, comme on vient de le voir, le résultat d'efforts concentrés sur un *point unique*, de *poussées verticales* de masses gazeuses, douées de fortes pressions et animées de très grandes vitesses : une sorte de coup de canon, dont l'âme serait une diatrème qui viserait le zénith.

EARTH
SCIENCES LIB.

DATE DUE		

STANFORD UNIVERSITY LIB
STANFORD, CALIFORNIA 943

LILLE — IMPRIMERIE LE BIGOT FRÈRES